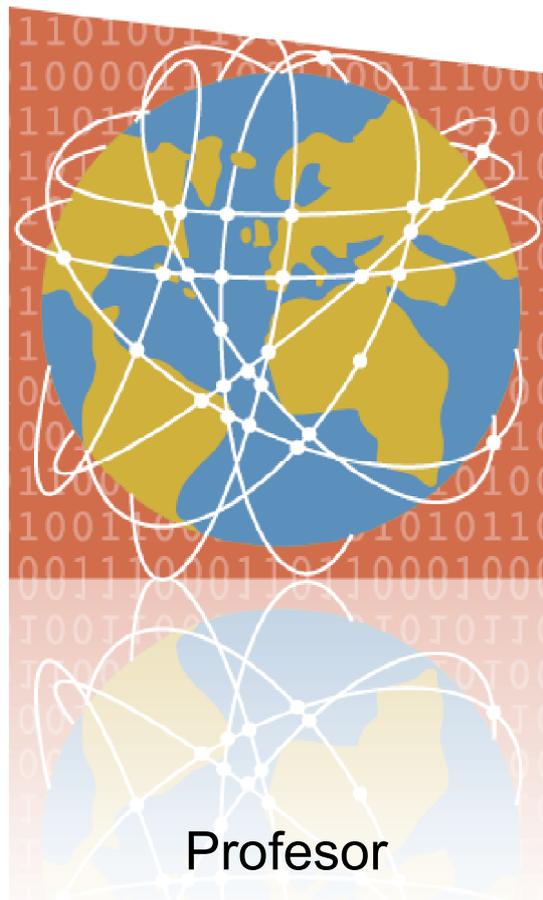


Protocolos de Interconexión de Redes

Tema II

Interconexión de Redes



Profesor

Alberto E. García Gutiérrez

Este Tema se publica bajo licencia:

[Creative Commons 3.0 BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/)

Tema II.

Interconexión de Redes

Introducción

El fin primordial de conectar equipos a una red adquiere otra dimensión cuando la complejidad de las redes a los que los usuarios se conectan aumenta. Se pretende que dialoguen usuarios que están conectados a redes de distintas tecnologías (p.ej.: Ethernet, Token Ring, FDDI, X.25, Frame Relay, ATM...). Pero sin embargo, nos encontramos con múltiples dificultades:

- Pueden estar soportadas por medios físicos diferentes (fibra óptica, coaxial fino o grueso, par trenzado, etc.)
- Pueden tener diferentes velocidades (FDDI a 100 Mbps y Ethernet a 10 Mbps).
- Su MTU (Maximum Transmission Unit), es decir el tamaño máximo de transmisión, también puede ser diferente.
- Unas subredes pueden ser orientadas a conexión y otras no.
- En unos casos el servicio que ofrezcan será fiable (X.25) y en otros no (Ethernet).

Podemos traducir dicho problema desde el punto de vista de los modelos de referencia y arquitecturas implicadas en cada una de las redes, de tal forma, que nuestro problema se “reduciría” a establecer los medios, procedimientos y soluciones que permitieran la perfecta comunicación de las arquitecturas extremas capa a capa, independientemente de la arquitectura a la que pertenezca.

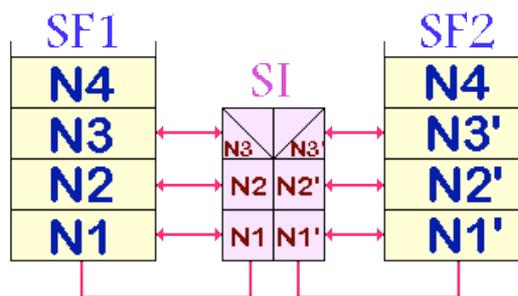


Fig. 47: Interconexión de subredes mediante sistemas intermedios.

Así aparece la necesidad de hacer uso de **Sistemas Intermedios**, es decir, sistemas auxiliares que interconectan subredes y que no incluirán todos los niveles OSI (probablemente hasta el 3 o menos).

Estos elementos pueden ser desde simples conectores a routers muy complejos.

La idea es que sólo se puede establecer un diálogo nivel a nivel cuando estos son

iguales. Cuando no lo son, es necesario el sistema intermedio para convertir e un protocolo a otro.

Para interconectar redes entre sí o bien segmentos de red se emplean una serie de dispositivos de interconexión, como son los repetidores, puentes, encaminadores (routers), pasarelas (gateways) y los hubs o dispositivos de concentración.

Los repetidores realizan la interconexión a nivel físico. Su función consiste en amplificar y regenerar la señal, compensando la atenuación y distorsión debidas a la propagación por el medio físico. Son, por consiguiente, transparentes al subnivel MAC y superiores. Las características más significativas de los repetidores son:

- Permiten incrementar la longitud de la red.
- Operan con cualquier tipo de protocolo, ya que sólo trabajan con señales físicas.
- No procesan tramas, con lo que el retardo es mínimo.
- Son de bajo coste, debido a su simplicidad.
- El número total de repetidores que se pueden incorporar en una red está limitado por la longitud máxima de la misma debido a la arquitectura, por ejemplo, 2500 m en IEEE 802.3 ó Ethernet.
- No aíslan tráfico, es decir, el ancho de banda del medio está compartido por todas las estaciones, independientemente de la sección de la red en que estén ubicadas.
- Se utilizan tanto redes de área local como en redes de área extensa.

Los **puentes** son elementos que operan a nivel de enlace. En consecuencia lógica es más compleja que la de los repetidores, siendo naturalmente más costoso. Sus características más significativas son:

- Permiten aislar tráfico entre segmentos de red.
- Operan transparentemente al nivel de red y superiores.
- No hay limitación conceptual para el número de puentes en una red.
- Procesan las tramas, lo que aumenta el retardo.
- Utilizan algoritmos de encaminamiento, que generan tráfico adicional en la red.
- Filtran las tramas por dirección física y por protocolo.

- Se utilizan en redes de área local.

Los **encaminadores** realizan transformaciones a nivel de red. En consecuencia, todos los nodos de la red deben tener un nivel de red determinado. Son transparentes a los niveles superiores al nivel de red. Sus características más significativas son:

- Permiten aislar totalmente segmentos de red, con lo que éstos pasan a ser redes independientes o subredes.
- Permiten interconectar cualquier tipo de red: Paso de testigo. Ethernet, X.25, etc.
- No hay limitación conceptual para el número de encaminadores en una red.
- Requieren la utilización de un nivel de red determinado.
- El proceso en los encaminadores es más complejo que en los puentes, por lo que el retardo es mayor.
- Son los elementos más complejos y, en consecuencia, más costosos.
- Se utilizan tanto en redes de área local como de área extensa.

Las **pasarelas** realizan transformaciones a niveles superiores al nivel de red. Se utilizan para interconectar aplicaciones, equipos, sistemas o redes de distintas arquitecturas, por ejemplo, para transformar correo X.400 en correo TEC/IP.

Los **hubs**, expresión de difícil traducción en este contexto, originalmente realizaban concentración de cableado. Los primeros hubs eran meros concentradores / repetidores que permitían la conexión de un número determinado de dispositivos a la red principal.

Posteriormente aparecieron los hubs multimedia, que permitían la conexión a diversos medios físicos.

Por último aparecen los hubs de tercera generación, que mediante la incorporación de puentes, encaminadores o conmutadores, permiten la interconexión de redes de distinto protocolo, incorporando además posibilidades de gestión de red.

Interconexión a nivel físico

Consideremos el caso más sencillo en el que los terminales/redes a conectar presentan arquitecturas similares, de tal forma que todos los niveles son iguales salvo el nivel físico

(ejemplo: PC1 conectado a una Ethernet 10Base2 y PC2 conectado a una Ethernet 10BaseT ó 10Base5).

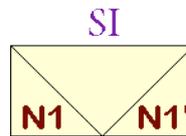


Fig. 48: *Interconexión a nivel físico.*

A estos dispositivos se les denomina:

- Repetidores: son activos y como tales amplifican la señal además de convertir formatos.
- Adaptadores de impedancias: son pasivos.

Como ejemplo de utilización caben destacar:

- Red Ethernet con coaxial a un lado y par trenzado al otro.
- Si tenemos varios edificios que cablear, puede que no sea posible unirlos directamente, pues la cobertura de una red Ethernet no pasa de los 100-200 metros.
- Lo que sí podemos hacer por ejemplo, es usar un par de repetidores por edificios a conectar y unirlos con fibra óptica.

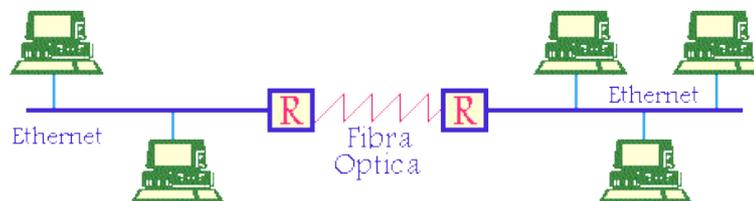


Fig. 49: *Solución al problema de cobertura.*

- Utilización de Hubs, que amplifican y distribuyen todas las señales que les llegan a todas las estaciones conectadas.
- Conceptualmente es igual que si todos estuvieran conectados al mismo cable.

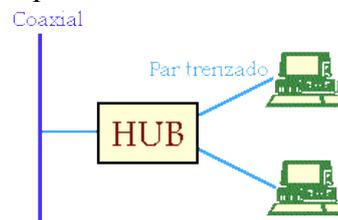


Fig. 50: *Interconexión mediante HUBs.*

Así pues este tipo de interconexión permite solucionar problemas tanto de incompatibilidad del medio como de cobertura.

MODEMS

Cuando se planteó la necesidad de buscar un medio de transmisión que permitiera conectar dos equipos de datos muy alejados entre sí, se pensó en la red telefónica debido a su enorme difusión. Sin embargo, había un inconveniente que impedía la conexión directa entre los dos equipos: la red era analógica, y los datos, digitales. Se hizo necesario, por tanto, el desarrollo de un equipo que adaptara los datos digitales de forma que éstos pudieran transmitirse a través de un canal analógico telefónico. Este equipo se denominó módem.

La palabra módem es una contracción de modulador-demodulador. Es fácil adivinar, por tanto, que la adaptación que realiza el módem consiste en la modulación de una portadora con los datos recibidos del terminal. El demodulador, por su parte, demodula los datos recibidos a través de la línea y procedentes de un terminal u ordenador remoto.

Hoy en día estos equipos han evolucionado tanto que el modulador - demodulador descrito anteriormente es sólo una pequeña parte de lo que hoy se denomina módem. Los equipos actuales incluyen generadores de secuencias aleatorias, codificadores, ecualizadores, llamada y respuesta automática, facilidades de prueba, control de errores y un sinnúmero de nuevos elementos más que permiten continuamente aumentar las prestaciones y la velocidad del módem.

Para el CCITT(Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico), el módem es un ETCD(Equipo Terminal de Circuito de Datos) y la fuente de datos un ETD (Equipo Terminal de Datos).

En la figura se representa una comunicación de datos empleando esta terminología.

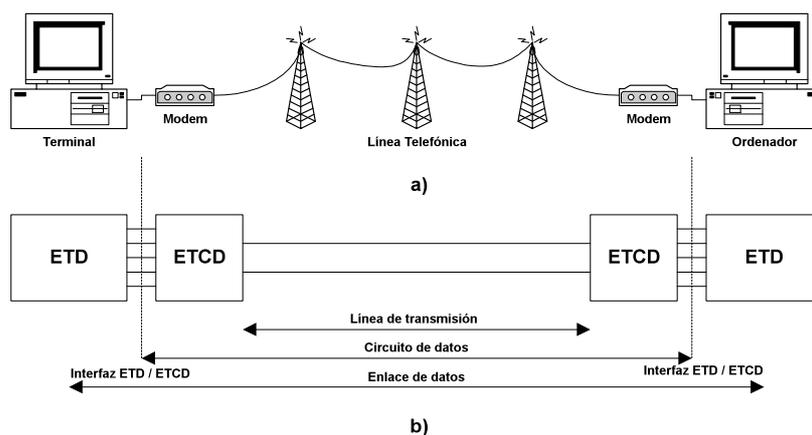


Fig. 51: a) Conexión de equipos de datos a través de módems
b) Esquema de una comunicación de datos

A. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE UN MODEM

Un modem se divide en dos partes fundamentales: el transmisor y el receptor.

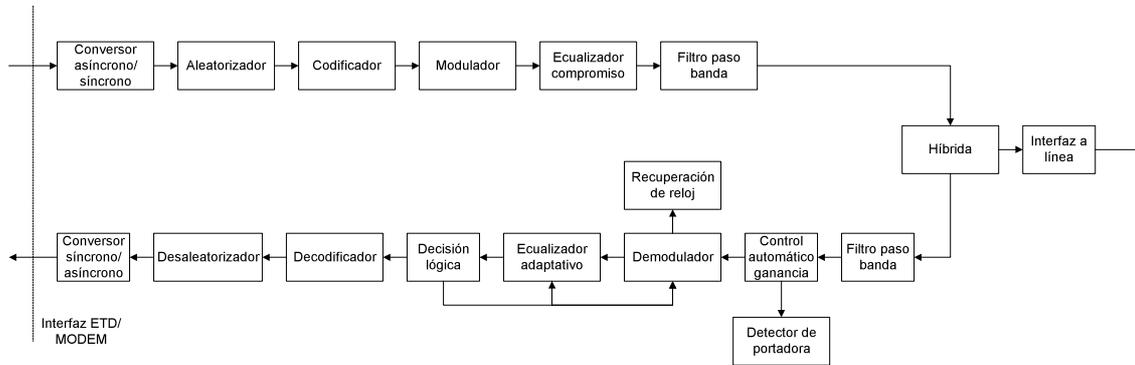


Fig. 52: *Diagrama de bloques en un modem.*

Lo primero que nos encontramos en el transmisor es la interfaz ETD/modem, formada por una serie de circuitos de interconexión que facilitan la transferencia de datos, relojes y señales de control entre el ETD y el modem. La interfaz está normalizada para permitir la compatibilidad entre diferentes fabricantes.

Algunos modems síncronos suelen incluir un convertidor asíncrono – síncrono que borra o inserta bits de parada en los caracteres asíncronos con el fin de adaptarse a la velocidad de transmisión síncrona del modem.

A continuación tenemos el generador de secuencias aleatorias o “scrambler”, necesario en modems síncronos, y que evita que largas cadenas de unos o ceros entorpezcan la recuperación de reloj en el modem remoto. Además, reparte uniformemente sobre todo el ancho de banda disponible la energía transmitida con el fin de obtener un buen proceso adaptativo en recepción.

Los modems que usan modulación multinivel incluyen también un codificador, cuya función es agrupar los bits transmitidos y asignar a cada combinación un cambio de estado de la portadora.

Por fin, los datos llegan al modulador y modulan la portadora correspondiente. Si los datos provienen de un codificador, el modulador genera un cambio de estado en la portadora por cada grupo de bits codificado.

Se hace necesario también un filtro paso banda que impida que se inyecte señal fuera de la banda de paso permitida y de algún ecualizador de compromiso que compense las pérdidas que introducirá la línea en los extremos de la banda de paso (distorsión de amplitud y de retardo de grupo).

Ya solo nos queda adaptar nuestra señal, modulada y convenientemente filtrada, a la línea telefónica. Esta función la realiza la interfaz de línea, la cual proporciona aislamiento eléctrico y protección contra sobretensiones. En líneas a dos hilos incluye una híbrida y si la línea es conmutada puede proporcionar circuitos de llamada y de respuesta automática.

Los modems acoplados acústicamente a línea sustituyen la interfaz de línea por un teléfono, y normalmente solo se utiliza en modems asíncronos ya que el acoplo acústico introduce ruido de fondo y distorsión. En el receptor, el filtro pasobanda rechaza ruidos indeseados de alta frecuencia e interferencias con la red.

Un circuito de control automático de ganancia rastrea continuamente el nivel de potencia recibido a fin de ajustar los circuitos para una correcta recepción. El demodulador realiza la función inversa del modulador recuperando la señal banda base. El detector de portadora comprueba que hay señal en la línea y el circuito de recuperación de reloj obtiene la sincronización de los datos recibidos.

A continuación un filtro transversal denominado ecualizador adaptativo intenta corregir las distorsiones de amplitud y fase introducidas por la línea. A la salida del ecualizador, el circuito de decisión determina a qué símbolo corresponde cada elemento de señal recibido. Además, calcula el error de fase y amplitud con respecto al valor ideal y se lo comunica al demodulador y al ecualizador adaptativo. Con esta realimentación se consigue que el modem se adapte dinámicamente a los parámetros de línea y de esta forma la recepción sea óptima.

A continuación, el símbolo detectado es decodificado y cancelada la secuencia aleatoria aplicada sobre él realizando la función inversa a la aplicada en transmisión. Finalmente, el convertidor síncrono-asíncrono reinserta los bits de parada borrados por el convertidor asíncrono-síncrono del modem remoto y los datos se envían al ETD a través de la interfaz ETD/modem.

A.1. Baudios y bits/segundo

El baudio es una unidad de velocidad de modulación y viene dada en elementos de señal por segundo o en símbolos por segundo. Esta unidad se utilizaba para definir la velocidad de datos cuando cada elemento de señal se correspondía con un bit. Actualmente la velocidad de datos se especifica en bits por segundo (bps), ya que con las nuevas codificaciones multinivel un elemento de señal (un cambio de fase de la portadora, por ejemplo) puede representar un grupo de dos o más bits está relacionada con los baudios de la siguiente forma:

$$\text{velocidad (bps)} = n \text{ baudios}$$

donde n = número de bits codificados

En la **tabla 1** se puede ver esta relación para varios tipos de modulaciones.

BAUDIOS	MODULACION	BITS/SIMBOLO	BITS/SEGUNDO
0-1800	FSK	1	0-1800
1200	DPSK	2	2400
1600	DPSK	3	4800
2400	QAM	4	9600

Ancho de banda de 300 a 3400 Hz , debido al transformador del puente de transmisión y a los sistemas de portadora.

MODEMS recomendados por la UITT						
REC	FECHA	VELOCIDAD	FDX/HDX	LINEA	MODULACIÓN	S/A
V21	1964	300	FDX	RTC/PP2H	FSK	S/A
V22	1980	1200	FDX	RTC/PP2H	2DPSK	S/A
		600			DPSK	S/A
V22bis	1984	2400	FDX	RTC/PP2H	4QAM	S/A
		1200			2DPSK	S/A
V23	1964	1200	HDX	RTC/PP2H	FSK	S/A
		600			FSK	S/A
V29	1976	9600	HDX	PP4H	4ASK/DPSK	S
		7200			3DPSK	S
		4800			2DPSK	S
V32	1984	9600	FDX	RTC/PP2H	5TCM	S/A
		9600			4QAM	S/A
		4800			2DPSK	S/A
V33	1988	14400	HDX	PP4H	6TCM	S
		12000			5TCM	S
V36	1976	48000 ¹	HDX	PP4H	BLU	S
V37	1980	96000 ²	HDX	PP4H	BLU	S

FDX=Full Duplex HDX=Half Duplex RTC=Línea conmutada PP=Línea dedicada
2H=Línea 2 hilos 4H=Línea a 4 hilos S=Síncrono A=Asíncrono BLU=Banda Lateral Única

¹ Se dispone de 56, 64 y 72 Kbps

² Se dispone de 112, 128 y 144 Kbps

A.2. Modulación

Las modulaciones más utilizadas actualmente en banda vocal (300-3400 Hz) son de frecuencia para modems asíncronos y multinivel para modems síncronos. Para banda ancha, sobre circuitos de grupo primario o secundario, se suele usar modulación de amplitud en BLU (Banda Lateral Única).

En la figura 3 se muestran varias modulaciones para modems de banda vocal (puede comprobarse que se mantiene la misma velocidad de símbolos, en baudios, para los tres ejemplos expuestos): a) ilustra una modulación de frecuencia FSK (Frequency Shift Keying), en la que se utilizan dos frecuencias de portadora; una de las frecuencias representan un 0 y la otra un 1. Por desgracia, el ancho de banda del canal telefónico (3,1 kHz) limita la velocidad de los modems que usan esta modulación a 1800 bps.

Si se quieren obtener velocidades superiores manteniendo el ancho de banda, es necesario codificar los bits y utilizar modulaciones multinivel (DPSK, QZM y TCM). La figura 3b presenta una modulación de fase diferencial DPSK (Differential Phase Shift Keying), donde la portadora tiene 4 estados (en este caso fases) diferentes. Cada grupo de 2 bits (dibit) se codifica como un cambio de fase de la portadora con respecto a la fase del símbolo inmediatamente anterior. Si la portadora tuviera 1200 baudios de velocidad de bits sería de 2400 bps. Con una portadora de 8 fases podríamos codificar 3 bits (tribit) consiguiendo 4800 bps con sólo 1600 baudios ($3 \cdot 1600 = 4800$).

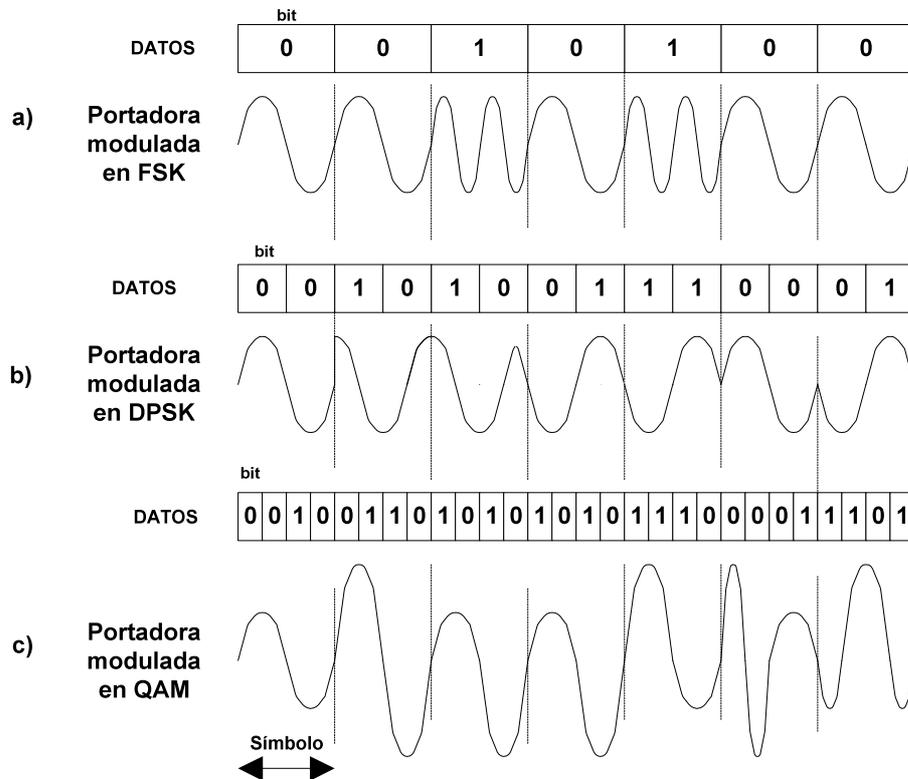


Fig. 53: Ejemplos de modulaciones: a)FSK, b)DPSK, c)QAM

La figura 3c muestra una modulación en cuadratura QAM (Quadrature Amplitude Modulation), donde se aplica una combinación de modulación de fase DPSK y de amplitud ASK (Amplitude Shift Keying). Así, con una portadora con 16 estados (de fase y amplitud) podríamos codificar 4 bits (cuadribit) y conseguir 600bps con sólo 2400 baudios ($4 \cdot 2400 = 9600$). Es fácil deducir, por tanto, que en modulaciones multinivel la relación entre el número de bits codificados (n) y el número de estados de la portadora (N) es $N=2^n$.

En la figura 4 se puede ver las constelaciones de puntos correspondientes a los dos últimos ejemplos. Cada punto representa en coordenadas polares cada uno de los posibles estados de la portadora.

Parece fácil, a la vista de los ejemplos anteriores, aumentar la velocidad del módem simplemente incrementando el número de puntos de la constelación. Esto no es tan evidente ya que el nivel de amplitud de la portadora está limitado en los canales, telefónicos para evitar diafonías y saturaciones.

Por tanto, si queremos aumentar el número de puntos de una constelación, estos puntos estarán cada vez más cerca entre sí y, en consecuencia, cualquier ruido en la línea hará que su confundan.

La solución a este problema consiste en aumentar la relación señal/ruido (S/N), lo que se consigue utilizando una codificación redundante.

La modulación TCM (Trellis Coded Modulation) es análoga a la QAM pero con una codificación peculiar: cada símbolo transmitido contiene información de sí mismo y del símbolo anterior y posterior. De esta manera, en lugar de decodificar cada símbolo por separado lo que decodificamos son secuencias de símbolos, de modo que lo importante no es la distancia entre los puntos de la constelación sino la distancia entre dos secuencias de símbolos.

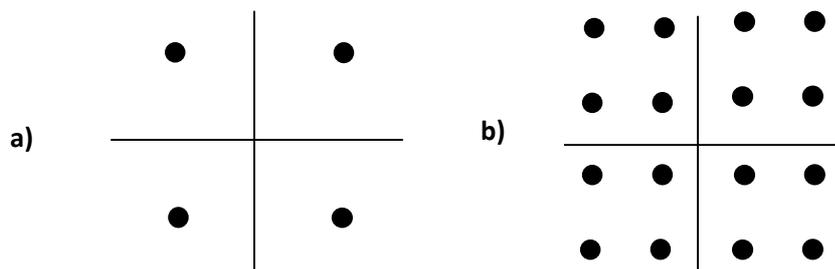
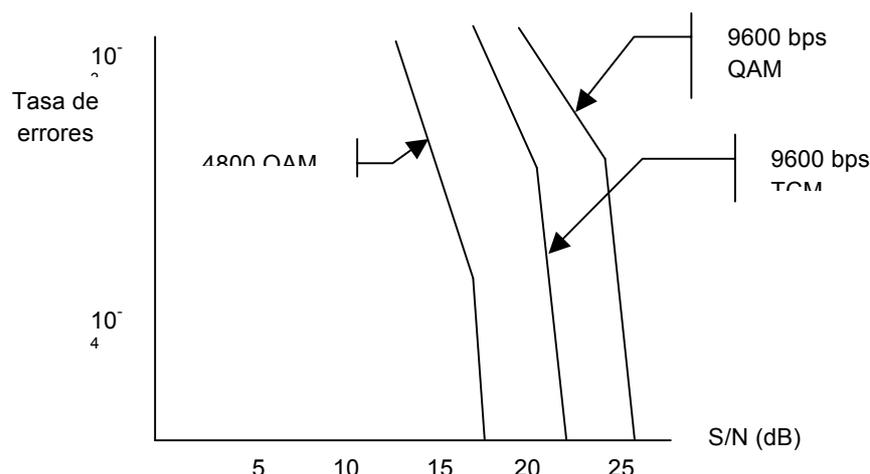


Fig. 54: Constelaciones : a) DPSK, b) QAM

Así, por ejemplo, en los modems según recomendación V32 del CCITT se codifican 5 bits por cada símbolo, donde 4 son de datos y 1 redundante. Este último bit, aunque aumenta el número de puntos de la constelación, permite una mejora de 3 dB en la S/N sobre la modulación QAM (figura 5).

Es interesante resaltar que las modulaciones multinivel permiten altas velocidades sin incrementar el ancho de banda de transmisión, que se mantiene siempre dentro del



ancho de banda del canal telefónico.

Fig. 55: Tasa de errores en función de la relación S/N para modulaciones QAM y TCM.

A.3. Asíncrono /síncrono

Cuando se dice que un módem trabaja en modo síncrono (o en asíncrono) no se suele referir a que sea un módem síncrono (o asíncrono), sino al hecho de que puede transmitir datos síncronos (o asíncronos).

En los modems asíncronos, el receptor puede demodular la señal de línea sin necesidad de adquirir sincronización. Solo quedan como asíncronos aquellos modems de 300 y 1200 bps basados en la modulación FSK.

El módem síncrono se hizo necesario en la modulación multinivel ya que era precisa la sincronización con los datos recibidos para poder demodular la señal. El módem síncrono dispone de un generador de reloj que permite muestrear los datos a transmitir y de un circuito que es capaz de recuperar el reloj con el que se muestrearon los datos en el módem remoto. Muchos modems síncronos poseen un convertidor asíncrono-síncrono que facilita la conexión de terminales asíncronos. Esto último es la causa de que muchos modems síncronos permitan transmisiones asíncronas y síncronas. Un módem asíncrono también puede transmitir en síncrono si su ETD es capaz de realizar las funciones de generación y recuperación de relojes.

A.4. Cuatro hilos/Dos hilos

Un circuito a cuatro hilos es una línea compuesta por dos pares físicos de hilos instalados de forma completamente independiente. Un par se utiliza para transmisión y otro para recepción.

Un circuito a dos hilos es una línea compuesta por sólo un par físico de hilos. Esta línea sólo en un sentido, a no ser que se apliquen ciertas técnicas que se explican en el apartado siguiente.

Hay un dispositivo, muy utilizado en telefonía y en modems, que se denomina híbrida, duplexor o convertidor de 4 hilos a 2 hilos (o viceversa), y cuya función básica es separar en un circuito a 2 hilos la transmisión de la recepción.

A.5. Half-duplex/Full-duplex

Estos términos se aplican a los modems, al canal de transmisión o incluso a una combinación de ambos creando a veces confusiones cuando se refieren a ciertas comunicaciones. Full-duplex o duplex significa que se pueden enviar y recibir datos simultáneamente. Por ejemplo, una línea intrínsecamente full-duplex.

Half-duplex o semiduplex significa que se pueden enviar y recibir datos pero no simultáneamente. Un módem half-duplex (figura 6) que trabaje sobre líneas a dos hilos tiene que desactivar su receptor cuando quiere transmitir, porque parte de la señal transmitida se refleja hacia el receptor. Esto es debido a que la híbrida nunca tiene una adaptación perfecta a línea y siempre hay unas pérdidas de transmisión que aparecen en recepción (2). Sin embargo, un módem half-duplex se comporta como full-duplex, cuando se conecta a líneas a 4 hilos, ya que normalmente los circuitos de transmisión y recepción son independientes.

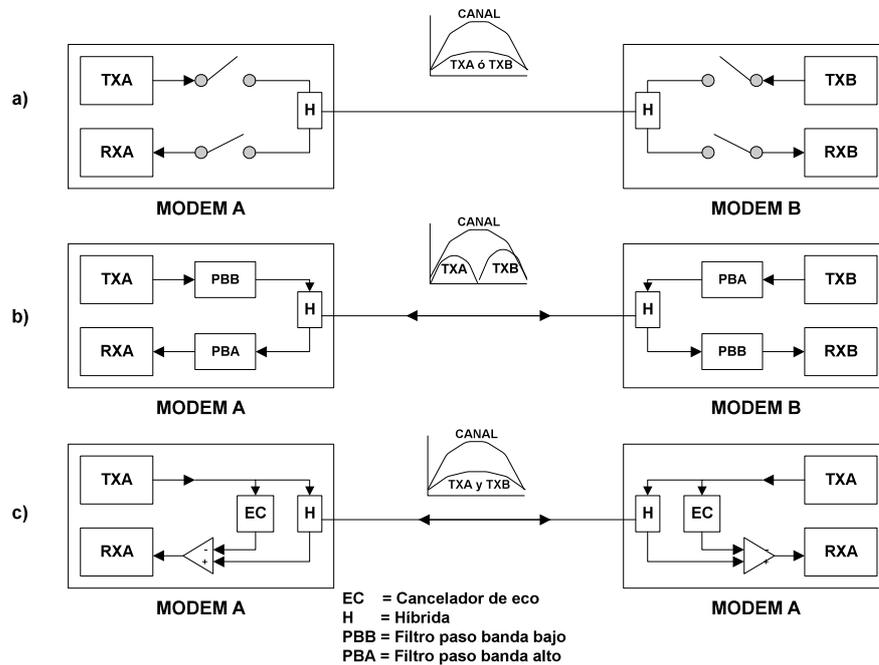


Fig. 56: Circuitos a 2 hilos. A) Semidúplex; b) dúplex total por multiplex por división de frecuencia; c) dúplex total por cancelación de eco.

Se dice que un módem es full-duplex, cuando puede enviar y recibir datos simultáneamente sobre líneas a 2 hilos. Esto se consigue con técnicas de multiplexación por división en frecuencia o con técnicas de cancelación de eco.

La multiplexación por división en frecuencia divide el ancho de banda de la línea en dos subbandas. Una subbanda se utiliza para enviar datos y la otra para recibirlos.

Los modems (figura 6b) incorporan unos filtros que permiten separar la transmisión de la recepción. Con la técnica de cancelación de eco se usa todo el ancho de banda tanto para enviar como para recibir datos. El cancelador calcula la señal reflejada de transmisión que “se cuele” en el receptor y se la resta a la señal recibida.

A.6. Canal de retorno

Los modems half-duplex requieren un tiempo, denominado de “line turnaround”, para invertir la dirección de transmisión en las líneas a 2 hilos. Este tiempo incluye el retardo que provoca la inversión de los supresores de eco y que puede llegar a ser de unos 150ms.

Para evitar esto, muchos modems half-duplex disponen de un canal de retorno de baja velocidad (de 5 a 75 bps) que permiten una comunicación “pseudo full-duplex” y cuya utilidad suele ser de diagnóstico o de protección contra errores. Por ejemplo, un módem según recomendación V23 del CCITT transmite a 1200 bps por el canal de ida y a



75 bps por el de retorno. A este tipo de modems se les suele llamar asimétricos.

A.7. Detección y corrección de errores

La integración de protocolos de detección y corrección de errores en los modems actuales surgió para permitir transmisiones asíncronas ya que entonces el protocolo suele estar implantado por el ETD.

El CCITT normalizó dos procedimientos que están recogidos en la recomendación V42. El primer procedimiento se denomina LAPM (Link Access Procedure for Modems) y está basado en el protocolo HDLC (High level Data Control); el segundo es el famoso nivel 4 del protocolo MNP (Microcom Networking Protocol) de Microcom.

El cumplimiento de la recomendación requiere la implantación de los dos protocolos se utilizará el LAPM. La razón de que la recomendación incluya dos procedimientos se debe a que el MNP4 es un estándar de facto y hay un gran número de modems instalados que lo utilizan.

Perturbación	<div style="text-align: center;"> Entrada — Canal — Salida </div>	Causas
Ruido Blanco		<ul style="list-style-type: none"> • Efecto térmico • Radio interferencias
Distorsión armónica		<ul style="list-style-type: none"> • Saturación de amplificadores • Circuitos no lineales
Desviación de Frecuencia		<ul style="list-style-type: none"> • Diferencia en las frecuencias portadoras de sistemas MDF
Flictuación de fase		<ul style="list-style-type: none"> • Acoplo de fuentes de alimentación de sistemas MDF y TDM • generadores de timbre.
Variaciones bruscas de atenuación		
Saltos de fase		<ul style="list-style-type: none"> • Cambio brusco de medio de transmisión • Cambio al equipo de reserva MDF
Ruido impulsivo		<ul style="list-style-type: none"> • Descargas atmosféricas • Conmutación de centrales • Fuentes de alimentación • Colgado de líneas próximas
Eco cercano y eco lejano		<ul style="list-style-type: none"> • Comunicaciones vía satélite
Distorsión de atenuación		<ul style="list-style-type: none"> • Características eléctricas de la línea
Distorsión de retardo de grupo		<ul style="list-style-type: none"> • Filtros en sistemas de portadoras • Cables cargados • Transformadores

Fig. 57 : Perturbaciones de la línea telefónica.

HUBS

A. Principios de operación

La palabra *hub* es equivalente a concentrador, si bien es la primera la que, desafortunadamente, prevalece entre los expertos. Los primeros concentradores para redes de área local nacieron como concentradores de cableado a mediados de los años ochenta, fundamentalmente, para redes tipo CSMA/CD con cable de pares telefónico, 10Base T. Los concentradores de cableado disponen de un bus posterior, denominado plano posterior (backplane) que hace las funciones de medio compartido. De esta incrementándose la fiabilidad, puesto que las estaciones están conectadas punto a punto al concentrador. Aunque la topología de la red es físicamente diferente, todas las estaciones envían el tráfico al plano posterior y de éste se difunde a todas las puertas y estaciones. Estos concentradores constituyen lo que se ha venido a denominar la primera generación.

Posteriormente aparecen los concentradores multimedia, que permiten la conexión a diferentes medios físicos: 10Base 2, 10Base5, 10BaseT, etc.

La tercera generación de concentradores soporta múltiples segmentos de redes de área local de distintas arquitecturas, como pueden ser Ethernet, pase de testigo en anillo, FDDI, etc., utilizándose puentes o encaminadores integrados en el concentrador para interconectar los distintos segmentos. La gestión de red puede también integrarse. Los planos posteriores pueden estar segmentados, de manera que los administradores de red puedan formar comunidades de interés, agrupando los usuarios con mayor afinidad en distintos segmentos, reduciendo de esta forma la congestión para los restantes usuarios.

En la actualidad está emergiendo lo que podría denominarse una nueva generación de concentradores, con un plano posterior segmentado de muy alta velocidad (del orden de los Gigabits), que utiliza técnicas de conmutación de alta velocidad, como puede ser la basada en las células de la tecnología ATM. También se están incorporando pasarelas para interconectar con redes ATM públicas o privadas.

Interconexión a nivel de Enlace

En este caso es el nivel 2 el que diferencia ambas subredes (si además el 1 es diferente usaríamos esto mismo).



Fig. 58: *Interconexión a nivel de enlace.*

Estos sistemas intermedios (denominados bridges o puentes) deben ser inteligentes

(CPU + memoria), pues deben entender y procesar las tramas de nivel 2.

Podemos simplificar su funcionamiento:

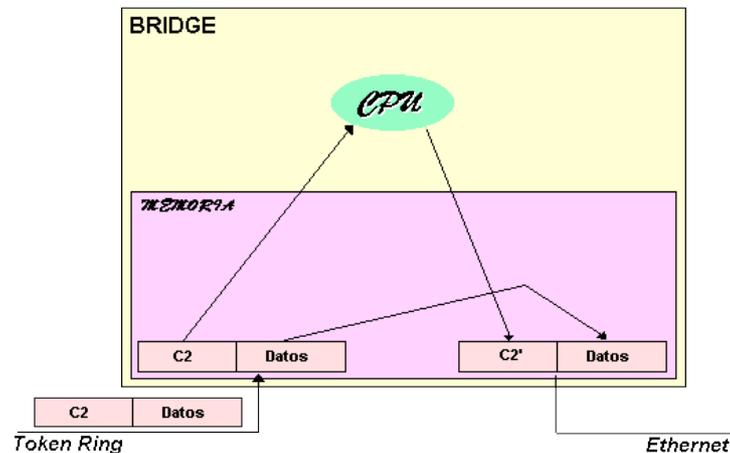


Fig. 59: *Funcionamiento de un bridge.*

1. El bridge se dedica a escuchar las tramas del Token Ring(TR) y de Ethernet.
2. Cada trama que llega se copia en su memoria interna.
3. La CPU analiza C2 (cabecera de nivel 2 del TR en este caso). Si el destino está en el TR descarta la trama, pues se supone que de A a B llegará sin problemas.
4. Si el destino está en la red Ethernet, crea una cabecera C2' (cabecera Ethernet de nivel 2) convirtiendo C2 y rellena el campo de datos con los datos originales (los de C2).

Sin embargo, este funcionamiento tan sencillo no está libre de problemas:

- Si los protocolos son muy distintos, no vale este esquema.
- Si la longitud máxima de las tramas es diferente, tengo que obligar al que la tiene mayor a transmitir sólo a la longitud máxima del menor (o bien usar un router, pero ya a nivel 3).

Los principales entornos de utilización serían:

- Entornos locales (Ethernet, Token Ring...), que han sido ambos estandarizados por el mismo organismo (IEEE) y tienen una estructura de cabeceras parecidas.
- Util para redes iguales con distintas velocidades.
- También se usa para unir varios segmentos del mismo tipo (Ethernet por ejemplo) con el fin de obtener mayor privacidad. El tráfico local de cada segmento no será enviado a otros. Sólo se enviarán los que tengan dirección destino en otro segmento. (De otra forma podría pinchar el cable y ver todo el tráfico que circule e incluso utilizar analizadores de protocolo).

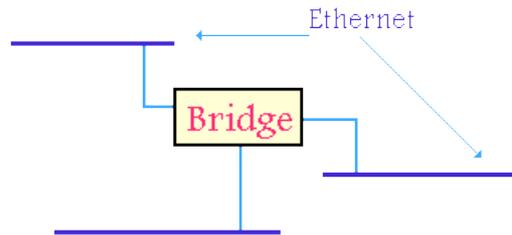


Fig. 60: Ejemplo de utilización de un bridge.

PUENTES

Los puentes realizan funciones a nivel MAC. Utilizan fundamentalmente tres tipos de algoritmos de encaminamiento:

- **Encaminamiento transparente** o de aprendizaje, normalmente asociado a las redes tipo Ethernet, si bien también se puede utilizar en las redes de paso de testigo.
- **Encaminamiento fuente**, asociados exclusivamente a las redes de paso de testigo en anillo.
- **Encaminamiento mixto fuente-transparente**, que permite la interconexión de estaciones que operen con los procedimientos anteriores.

A. Puentes transparentes

A.1. Principios de operación

Para ilustrar la operación de los puentes transparentes, considérese la figura siguiente.

Los puentes, en su estado inicial, contienen una tabla vacía, Las tablas contienen sendas columnas por cada uno de los puertos, 2 en este caso.

Cuando la estación E1 envía una trama dirigida a E3, el puente P1 analiza la trama y no encuentra en sus tablas las direcciones de E1 y E3. El puente retransmite la trama por todos los puertos excepto por el de origen, con lo que es seguro que llegará a su destino. También aprende que la estación E1 está asociada al puerto de entrada de la trama, con lo que actualiza la tabla en consecuencia.

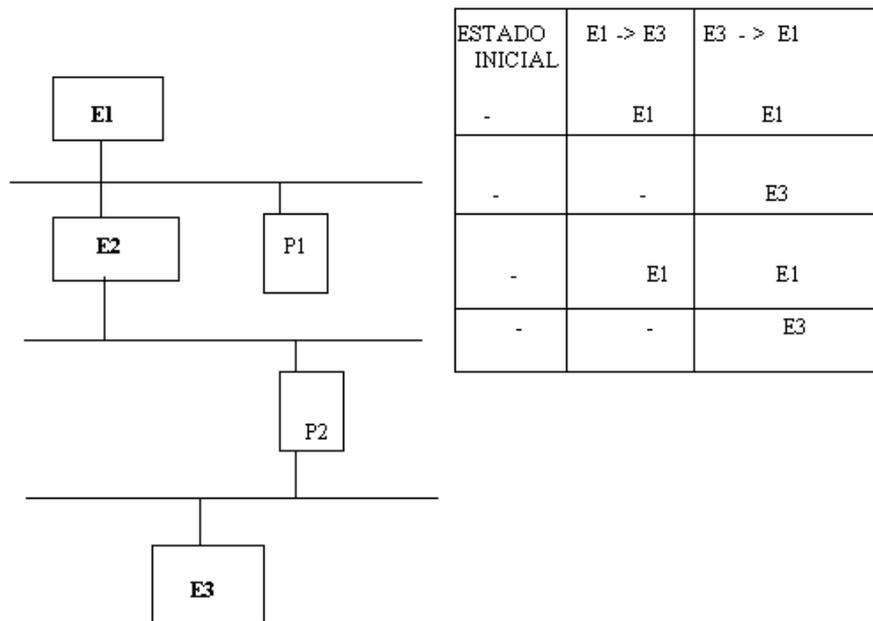


Fig. 61: Principio de operación de los puentes transparentes

Cuando la trama circula por el segmento inferior del puente P1, es recibida por el puente P2, que actúa igual que P1, retransmitiendo la trama y actualizando su tabla. De esta forma el puente P2 aprende que la estación E1 está localizada a partir de puerto superior en la figura, con independencia de que E1 no esté en el segmento al que se conecta dicho puerto.

La trama llega a E3. Supóngase que E3 responde. Puesto que el destino es E1, los puentes ya conocen su puerto de destino. Por tanto, retransmiten la trama por dicho puerto al tiempo que actualizan sus tablas con el puerto correspondiente a E3.

Para prever cambios en la situación de las estaciones, cada cierto tiempo, los puentes borran las entradas de sus tablas que no hayan estado utilizadas durante un tiempo determinado.

La limitación más importante del encaminamiento transparente es que la topología de la red no debe contener bucles. En caso de que en una red existiese bucles formados por rutas paralelas o alternativas, se debe establecer un árbol o expansión mínima, *spanning tree*, es decir, un conjunto de enlaces que una todos los nodos sin formar bucles. Existen numerosos algoritmos óptimos para determinar un árbol de expansión mínimo, como son los de Kruskal, Prim, etc.

A.2. Determinación del árbol de expansión

El algoritmo que se detalla a continuación, si bien puede no obtener el árbol de expansión óptimo, sí obtiene uno válido a un coste razonable.

1. **Asignación de coste de las puertas de los puentes:** En este tipo de puentes, el administrador de la red da unos pesos a las puertas de los puentes. Ese peso puede ser, por ejemplo, asignado en función del coste o por la congestión del tráfico

2. **Identificación de los puentes:** A cada puente se le asigna un subíndice. La identificación del subíndice se puede realizar de la manera que al diseñador le convenga.
3. **Asignación del puente raíz:** Se selecciona uno de los puentes para ser el puente raíz del árbol de expansión. Lo más normal es seleccionar un puente con elevado peso agregado para todas sus puertas.
4. **Determinar el coste para cada segmento:** Este paso consiste en obtener el coste de conexión de un segmento al puente raíz. Para determinar el coste que haya entre un puente y una red, habrá que sumar los costes de atravesar cada una de las puertas de los puentes que los conecten. Esto deberá hacerse para todas las conexiones que existan en la red.

5. **Determinar el coste mínimo al nodo raíz para cada segmento:** Esto es, determinar para cada segmento o subred el coste mínimo para llegar hasta el puente raíz. Entre todos los posibles caminos que existen entre segmento y puente se elige el del coste mínimo. En caso de que existan dos caminos con el mismo coste, se selecciona aquel que conecte el segmento con el puente de menor subíndice.

Para ilustrar estos conceptos considérese el esquema de red que se muestra en la figura siguiente. En dicha figura se muestran también los supuestos costes que ha atribuido el administrador de la red a las puertas. Es decir, están realizados los pasos 1 y 2 del algoritmo. Se toma como nodo raíz el puente P1 como indica el paso 3.

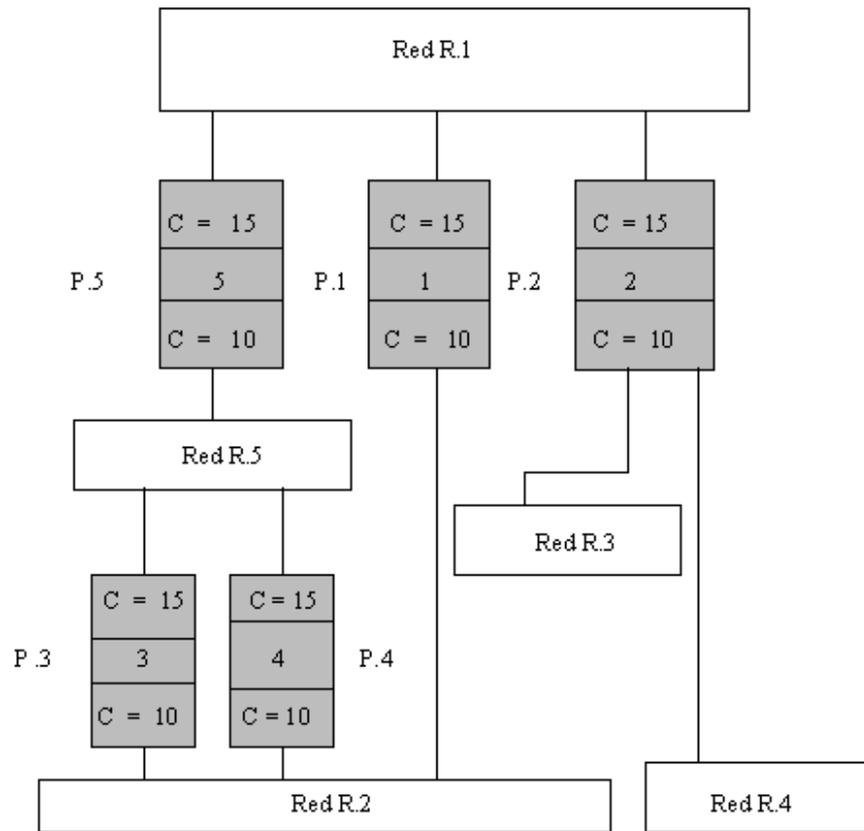


Fig. 62: Ejemplo de redes en las que el administrador ha suministrado unos costes a las puertas.

En la figura siguiente se muestra el coste del Camino a la raíz de los segmentos de la red. En dicha figura se establece los costes de conexión de cada segmento al pueden raíz (paso 4 del algoritmo). Como se puede observar, para conectar R.5 con P1 se toman todos los enlaces de la red:

Camino	Coste
R.5 -> P5 -> P1	$10+15+15=40$
R.5 -> P3 ->R.2 -> P1	$10+10+10=30$
R.5 -> P4 -> R2 -> P1	$10+10+10=30$

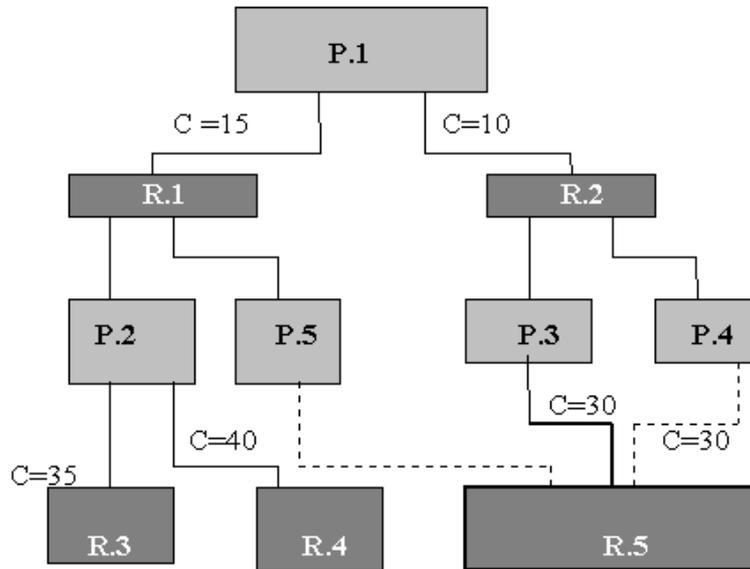


Figura 63: Esquema con coste del camino a la raíz.

El paso 5 del algoritmo dice que se escoja de ellos el de menor coste. Hay dos con el mismo coste, por lo que se tomará aquel que pase por el puente de menor subíndice, que en nuestro caso es el que pasa por P3. Como indica la figura, los restantes caminos se descartan.

A.3. Algoritmo de aprendizaje de los puentes transparentes

Supóngase el árbol de expansión de la figura anterior. El puente aprende dinámicamente las direcciones MAC asociado. Para ello emplea es siguiente método de aprendizaje.

Haya una primera serie, que tiene una duración seleccionable y con un valor razonable, del orden de pocos minutos, durante la cual no se propagan las tramas. En esta fase el puente se limita a escuchar, observando las direcciones origen y aprendiendo que dichas direcciones MAC han llegado por una puerta.

En una segunda fase, el puente aprende direcciones a la vez que propaga las tramas.

Para ilustrar como aprende un puente, considérese la figura siguiente:

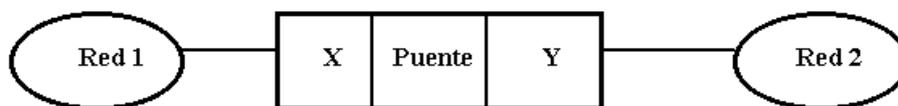


Figura 64: Puente conectado mediante las puertas X e Y a dos redes R.1 Y R.2

Una vez encendido el puente, lo primero que hace es aprender mediante escucha y no envía trama. Está unos minutos escuchando. a medida que llegan direcciones MAC. Las registra en una tabla como la siguiente:

INTERFAZ	@MAC	TIEMPO

Figura 65: *Tabla de direcciones.*

En una segunda fase el puente aprende a la vez que propaga las tramas.

Si en un tiempo prefijado (por ejemplo 15 minutos) no se activa una entrada, se considera inactiva y se borra. El algoritmo de operación de la segunda fase está representado en la figura siguiente:

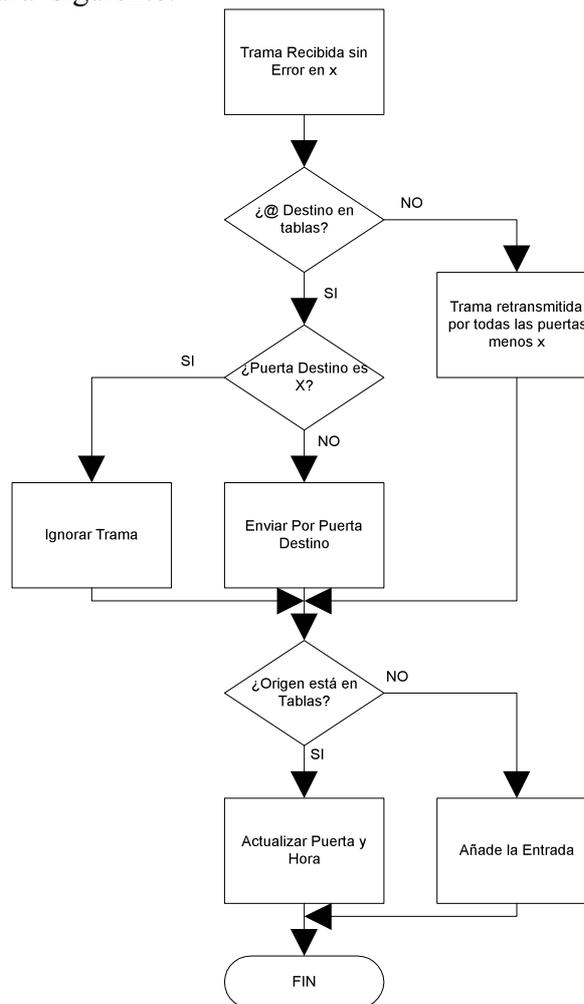


Figura 66: *Algoritmo de aprendizaje para puentes transparentes.*

B. Puentes de encaminamiento fuente

Las características principales de este tipo de puentes son:

- Requiere que la fuente del mensaje (no el puente) suministre la información necesaria para enviarlo a su destino.
- El puente no necesita mantener tablas de encaminamiento
- La decisión de enviar o descartar una trama se hace en función de datos contenidos dentro del mensaje (campos de la trama).
- La fuente del mensaje usa un protocolo de descubrimiento de rutas, enviando, mediante difusión (broadcast), unas tramas especiales de “ exploración “. Cada puente que lo recibe intercala en él información de la ruta por la que ha llegado y su propio identificador.

La máquina destino puede recibir por varias rutas y elige una de ellas dependiendo de un criterio de coste y lo devuelve a la fuente de la emisión para que lo almacene en memoria.

Una ruta a través de múltiples segmentos de RAL se puede describir como una secuencia de números de segmentos y números de puentes. Una combinación de Número de segmento - número de puente es lo que se llama **identificador de ruta**.

La figura anterior muestra la información de ruta que ha en una trama de pase de testigo, y cómo se introducen los identificadores de ruta en el campo R1. En la figura se puede observar cómo esté mecanismo se apoya en una información de ruta R1 incluida en la propia trama. La incluye la estación de origen y necesita de la cooperación de estaciones y puentes para determina la ruta. La estructura de la trama (que se asocia con la de 802.5) es la que muestra la figura siguiente.

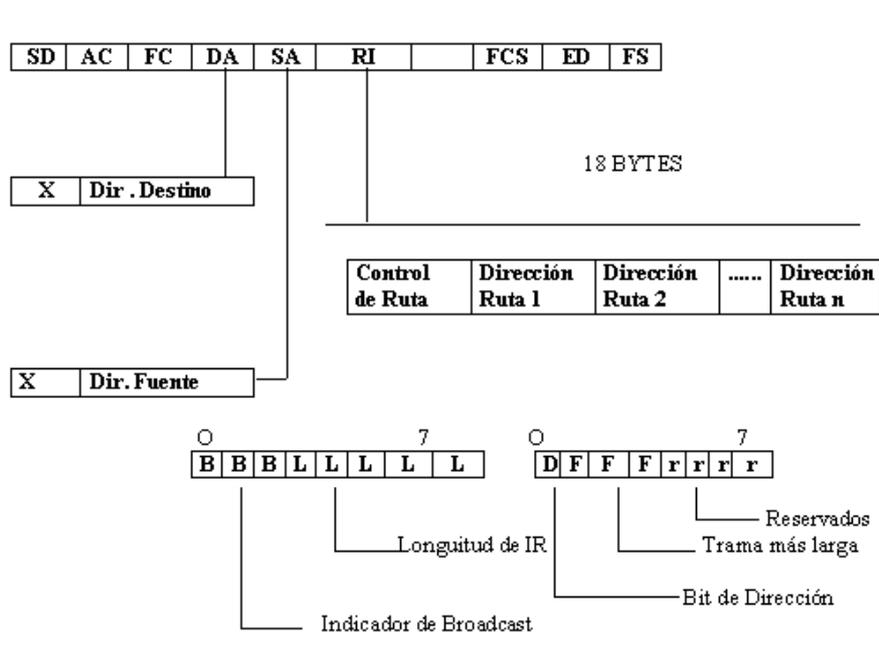
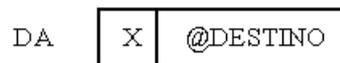


Figura 67: Estructura de la trama IEEE 802.5 empleada para encaminamiento puente.

Por tanto, los puentes con encaminamiento fuente sólo pueden utilizarse en este tipo de redes.

Los campos que interesan en ese estudio son DA, SA, y RI. DA y SA son de 6 bytes cada uno, como se muestra en la figura siguiente:



El bit x sirve para indicar si es para estación individual o es de difusión (grupo)



El bit X indica si la estación fuente incorpora información de ruta o no

Figura 68: Campos DA y SA.

El campo RI, de indicación de ruta, tiene la siguiente forma:

B.1. ARB (All Routes Broadcast)

Se envía TEST o XID a todos los anillos y se asigna al indicador de broadcast del campo R1 el valor “10x”. Mientras la trama va avanzando se va completando el campo R1.

La estación destino puede recibir tantas tramas LPDU (LLC Protocol Data Unit) como rutas disponibles. Las estaciones que reciben un mandato LPDU emitirán otra LPDU colocando los bits del indicador de ruta a 000 (no broadcast), información de ruta correspondiente y el bit de dirección a 1. Esto obliga a que cualquier trama de respuesta retorne a la estación fuente mediante la vía construida por los mandatos LPDU.

La estación fuente selecciona la ruta más adecuada de entre todas las recibidas. Generalmente seleccionará la primera recibida, que es la más rápida.

En el ejemplo de la figura siguiente, se muestra la operación al encaminamiento fuente.

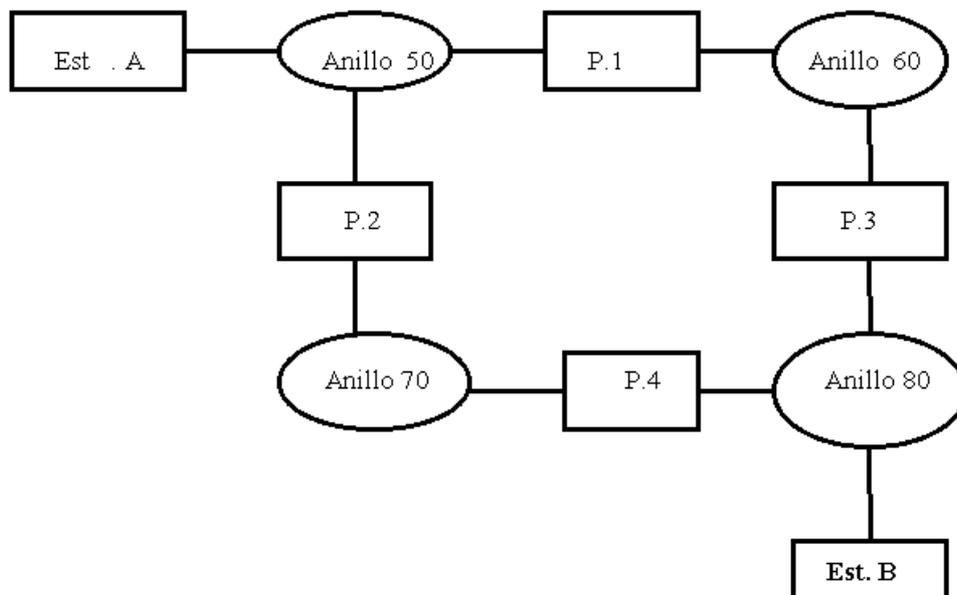


Figura 70: Ejemplo de la red formada por cuatro anillos y cuatro puentes. Las estaciones A y B están conectadas a distintos anillos.

- La estación A envía tramas TEST o XID mediante difusión e inicia la información de ruta. Esto implica envía una trama por el puente P1 y otra por el puente P2.
- B contesta a todas las tramas (sin difusión puesto que conoce la ruta) con R1 acumulada y el bit de dirección puesto a 1 para indicar respuesta. Esto implica devolver las dos tramas por la misma ruta que siguieron en la transmisión.
- A recibe tantas tramas como respuestas y selección la primera.

Con este procedimiento se ha cargado la red con cuatro mensajes (puede calcularse que da lugar a $(4+3)$ tramas de ida y 6 de vuelta. Total =13 tramas)

B.2. SRB (Single Route Broadcast)

La estación emisora asigna el valor “11X” al indicador de difusión. Los puentes retransmiten la trama por el árbol de expansión: por este motivo, la estación destino recibirá solamente una trama.

La estación destino contesta mediante el mecanismo ARB, con lo que llegarán varias tramas a la estación fuente, que normalmente selecciona la ruta correspondiente a la primera en llegar.

Este procedimiento exige la activación del árbol de expansión (necesario para las tramas SRB, pero no utilizado por las tras ARB).

Analícese el caso anterior (véase figura 18.10) este procedimiento:

- La estación A envía TEST o XID a B a través del árbol de expansión mínimo e inicia IR. Si, por ejemplo, el camino del árbol de expansión mínimo entre las estaciones A y B pasase por P1, la estación enviaría una trama a B por P1.
- La estación B envía respuesta con ARB e inicia el bit de dirección a 1. Esto implica generar dos tramas: una por P4 y otra por P3.
- La estación A recibe tantas tramas como caminos existan entre las estaciones A y B.
- La estación A selecciona la primera de ellas.
- Mediante este mecanismo se ha cargado la red con tres mensajes. (Puede calcularse que da lugar a 4 tramas de ida y $(3+4)$ de vuelta. Total =11 tramas).

C. Comparación entre encaminamiento fuente y encaminamiento transparente

La tabla de la figura siguiente representa un esquema comparativo entre ambos

procedimientos.

CARACTERISTICAS	FUENTE	TRANSPARENTE
Rutas de respaldo	SÍ (dinámicas)	SÍ (manuales)
Rutas paralelas	SÍ	NO
Equilibrio de cargas	SÍ	NO
Simplicidad de lógica de puentes	+	-
Participación de las estaciones	SÍ	NO
Carga de la red	+	++
Tiempo de retardo en puentes	+	++

Figura 71: *Corporación entra encaminamiento fuente y encaminamiento transparente.*

D. Interoperatividad entre puentes de encaminamiento fuente y puentes transparentes. SRT

Una de las especificaciones de IEE 802.1 es que el empleo de puentes transparentes sea compatible con el empleo de puentes de encaminamiento fuente.

Como se ha comentado anteriormente, los mecanismos que siguen estos puentes son distintos, Los transparentes mantienen unas tablas de direcciones MAX para tomar decisiones, mientras que los de encaminamiento fuente construyen campos de información de ruta.

Después de reuniones de subcomités de IEEE, en marzo de 1990 una reunión del comité 802 IEEE, IBM propuso la idea de los puentes de encaminamiento fuente transparente (Source Routing Transparent bridges - SRT) que resolverían el problema. Un puente SRT está basado en el concepto de puente transparente, pero con la capacidad de encaminamiento fuente.

Un puente SRT formará un árbol de expansión con todos los puentes SRT y los puentes transparentes estándar, y si se puede establecer un árbol de expansión comunicará todas sus tramas sin el campo de información de ruta. Esto formaría una red con los servicios proporcionados por puente transparente.

Sin embargo, si una trama contiene información de ruta, se transmitirá de la misma manera que si fuese un puente con encaminamiento fuente, incluso si el puente estuviese en un estado de bloqueo desde el punto de vista del árbol de expansión.

La figura siguiente muestra una red compuesta por segmentos enlazados por puentes transparentes y dos estaciones de trabajo X e Y. El árbol de expansión (que ha

bloqueo el puente P8) generará un embotellamiento en los puentes P1 y P2, así como segmento A, mientras que todo el tráfico entre estaciones de los segmentos C, C y los segmentos F, G, H tendrá que pasar por los segmentos B, A, E.

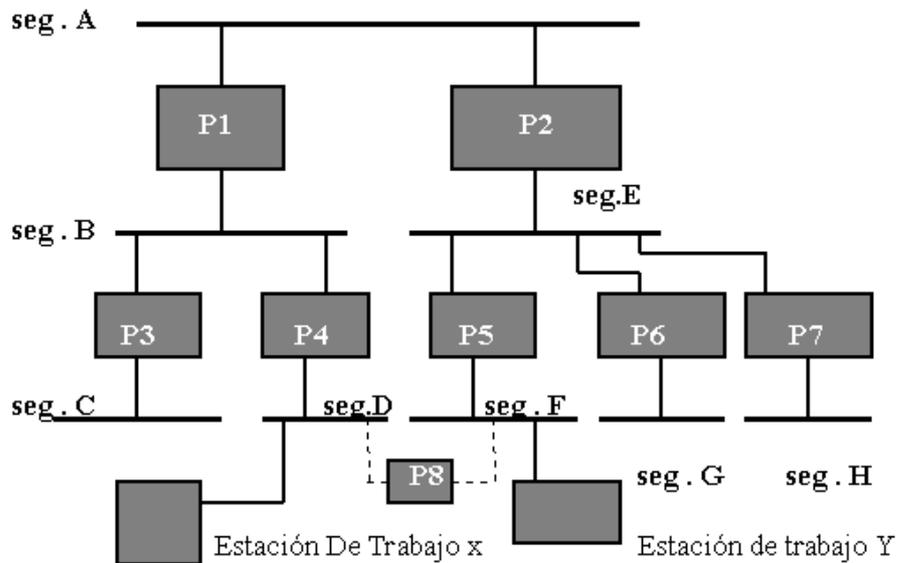


Fig. 72: Configuración de una red con puentes transparentes. Las estaciones de trabajo no entienden la información de ruta.

Es obvio que, por ejemplo, existe otro camino más corto entre D y F mediante el puente P8. Sin embargo, el árbol de expansión lo ha puesto en estado de bloqueo. No será empleado hasta que el puente P4 falle.

En la figura siguiente, el puente P8 se ha reemplazado por un puente SRT, Aunque permanezca en estado de bloqueo debido al árbol de expansión, es posible que lo atraviesen tramas que contengan información de ruta. De modo que, si las dos estaciones fuesen capaces de interpretar y emplear información de ruta, es decir, que fuesen estaciones SRT, se podrían comunicar mediante el camino directo D->P8->F, evitando la sobrecarga de tráfico en los puentes 4, 1, 2 y 5, así como en los segmentos B, A y E.

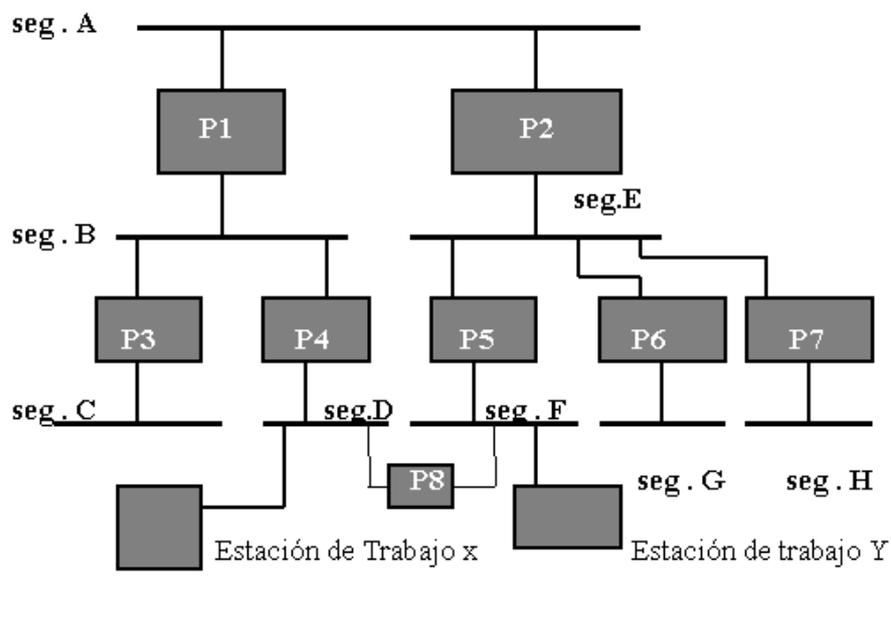


Fig. 73: Configuración de la red anterior con empleo de puentes SRT. Las estaciones de trabajo entienden la información de ruta. Son estaciones SRT.

Durante el descubrimiento de la ruta, una estación de encaminamiento fuente debe transmitir una trama SRB, Los puentes SRT formarían parte del árbol de expansión, de manera que si una estación transmite una trama sin información de ruta (trama conocida como route explorer), esa trama llegaría a cada segmento de la red una vez.

La estación SRT transmitirían la trama dos veces, una vez sin información de ruta y otra como trama ARB, Al menos una de estas tramas llegará a la estación destino y será posible establecer de manera más óptima la ruta de menor coste.

E. Puentes remotos

Los puentes remotos (remote bridge o split bridge) son puentes que interconectan segmentos de RAL usando un enlace de telecomunicaciones para la transmisión de tramas entre las puertas de los puentes, como se muestra en la figura 18.14.

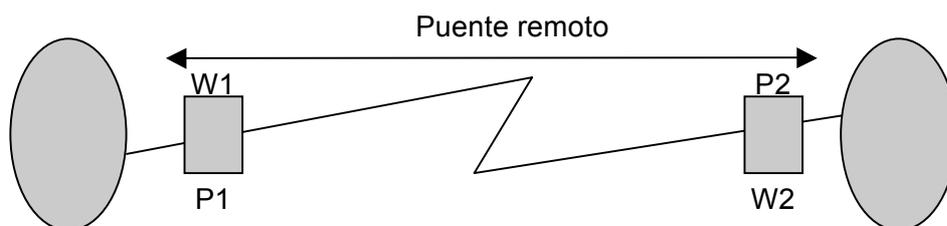


Fig. 74: Interconexión de dos redes en anillo mediante puente remoto.

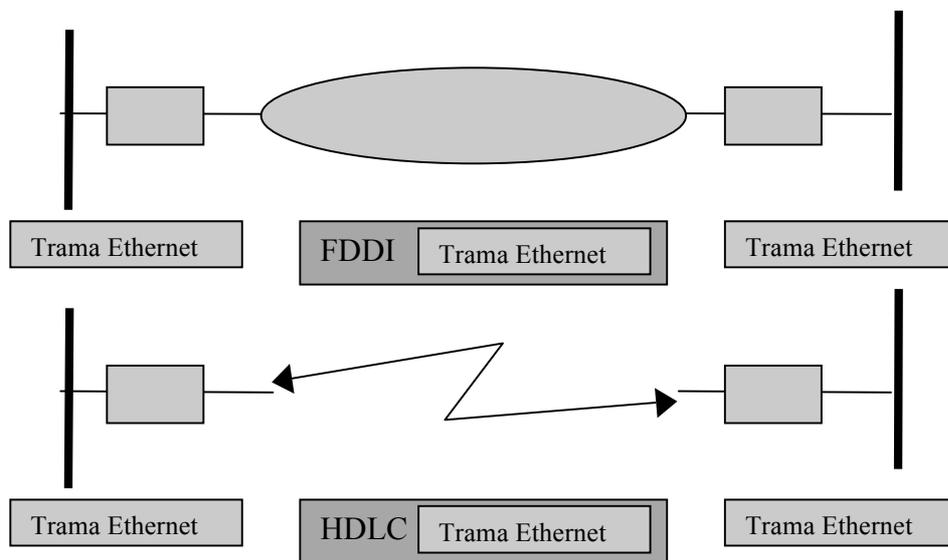
Físicamente un puente remoto consiste en dos mitades situadas en ambas partes de la línea de telecomunicación. En vez de transmitir tramas normales de un segmento a otro, en un puente remoto cada trama se copia de un adaptador de RAL al adaptador de comunicaciones (añadiendo información de ruta). Este adaptador de comunicaciones envía la trama a través del enlace de comunicaciones para alcanzar la otra mitad del puente, donde la trama LLC se copia en el adaptador de RAL y es transmitida al segmento de RAL.

Este tipo de puentes se puede agrupar en dos tipos: puentes por encapsulación y puentes por traducción.

E.1. Puentes por encapsulación

Sus características son las siguientes:

- Son remotos
- conectan medios idénticos
- encapsulan un protocolo en el otro, como muestra la figura 18.15
- no hay alteración de la trama entre la fuente y el destino
- no existe una encapsulación estándar
- realiza un uso ineficiente de la anchura de banda



- realiza tormentas de difusión (broadcast)
- no separa lógicamente las redes

Fig. 75: Puentes por encapsulación

E.2. Puentes por traducción

Las características de este tipo de puentes, que se representan en la siguiente figura, son:

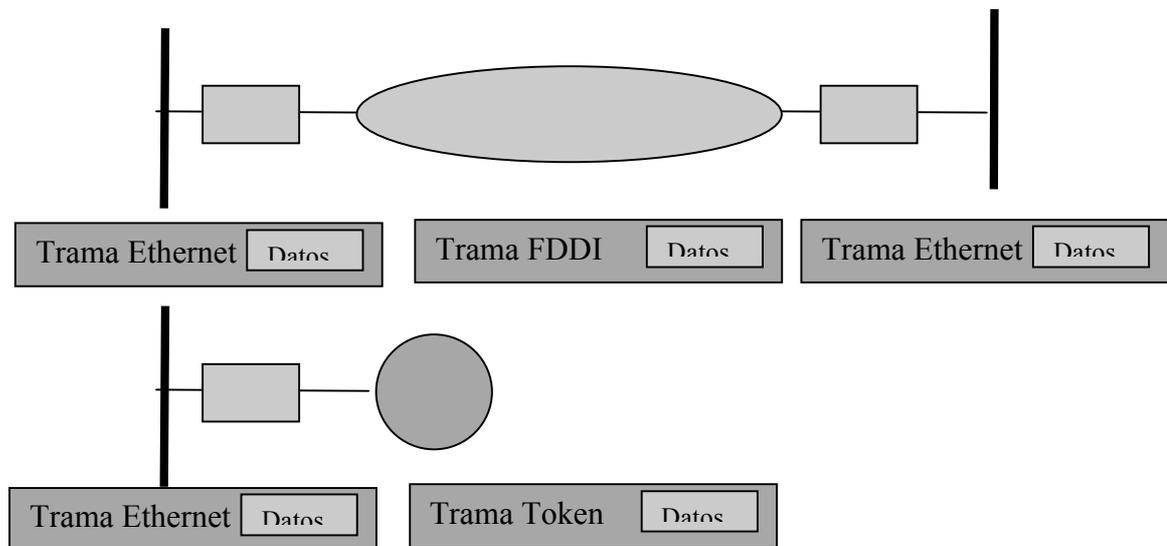


Fig. 76: Puentes por traducción.

- pueden ser tanto locales como remotos
- traducen de un medio a otro
- son dependientes del protocolo
- entienden a la vez el tipo de medio y el protocolo

Interconexión a nivel de Red

Es el caso en el que los equipos implicados se encuentran situados en dominios o “subredes” que aunque comparten niveles superiores, difieren en mayor o menor medida en los tres niveles básicos del modelo de referencia correspondiente.



Fig. 77: Interconexión a nivel de red.

Los sistemas intermedios encargados de realizar esta función se llaman routers, encaminadores o enrutadores.

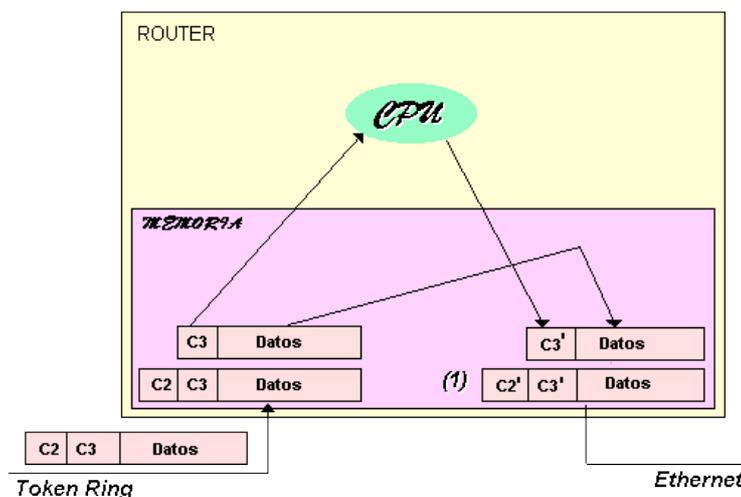


Fig. 78: Funcionamiento de un router.

El modo de funcionamiento en este caso sería:

1. Después de copiar en memoria la trama de nivel 2, corta y tira su cabecera.
2. Del campo de datos saca la trama de nivel 3 y analiza su cabecera (C3) en la CPU.
3. En base a C3:
 - Encaminará.
 - Generará C3' y en definitiva otra PDU de nivel 3 (con los mismos datos que tenía la de C3).
 - Generará tramas de nivel 2 con C2' (la dirección origen de C2' será el punto (1) de la figura y no la del TR como ocurría en el caso anterior).

Antes generábamos C2' desde C2. Ahora C2 se tira y C2' se genera desde C3'.

Sin embargo, se plantea el siguiente problema, que resulta muy difícil de implementar y sólo es posible en el caso de redes muy parejas. La única solución es enterrar los problemas de incompatibilidad bajo un nuevo nivel.

ENCAMINADORES

A. Principios de operación

La operación de los encaminadores se basa en los siguientes planteamientos:

- Los datos se envían a los encaminadores y no a través de los encaminadores
- Los encaminadores solamente analizan la información a ellos dirigida.
- Los encaminadores basan su decisión en la dirección de nivel de red.
- Los encaminadores mantienen una tabla de rutas por cada protocolo que soportan.

En base a estos planteamientos, los encaminadores minimizan los mensajes de difusión del nivel de enlace y permiten la utilización de la misma dirección de enlace en diferentes segmentos y subredes.

Para que los encaminadores puedan operar, los protocolos de nivel de red deben ser lo que se denominan protocolos enrutables, es decir, que están preparados para transportar información de ruta en sus tramas, Normalmente, como en el caso del protocolo IP utilizado en Internet, la información de ruta está proporcionada mediante unos campos específicos que indican la red y nodo de destino. Ejemplos de protocolos enrutables son TCP/IP, APPN, DecNet, IPX, XNS y OSI.

Los protocolos no enrutables no transportan información de ruta. Por ello no pueden operar con encaminadores. Protocolos no enrutables son DEC LAT, NestBIOS y SNA jerárquico.

Con objeto de describir la operación de los encaminadores, se utilizará el protocolo IP de Internet. La operación del encaminamiento en arquitecturas propietarias como APPN es también interesante. Otra posibilidad sería partir de la conceptualización del MR-OSI. Estos dos últimos planteamientos, si bien interesantes, son conceptualmente similares al primero, el basado en el protocolo IP.

La operación de los encaminadores, en sus líneas básicas, es la siguiente:

Cada nodo mantiene una tabla de encaminamiento, en la que almacena, entre otra información, los siguientes datos por cada entrada correspondiente a una red de destino.

- Dirección de la red destino.
- Dirección del siguiente encaminador para alcanzar la red destino
- Interfaz : puerto por donde debe dirigirse la información

- Métrica : parámetro asociado a la red de destino, como el tiempo de tránsito o el número de encaminadores que se deben atravesar para alcanzarla.

Las rutas para alcanzar la red de destino pueden ser:

- Rutas directas: cuando la red de destino está conectada al encaminador
- Rutas indirectas: cuando la red de destino se alcanza mediante otros encaminadores.
- Rutas por defecto: ruta directa o indirecta a seguir en caso de que la dirección de la red destino no se encuentre en la tabla.

En la figura siguiente se representa un ejemplo de encaminamiento utilizando direcciones IP.

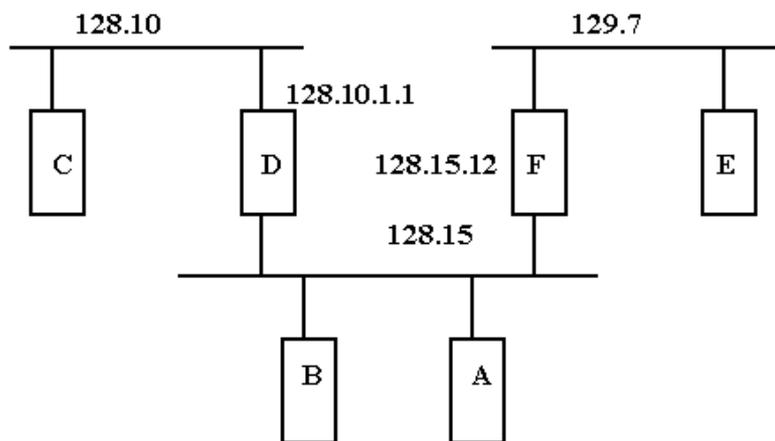


Fig. 79: Operación de los encaminadores.

En la figura siguiente se representa la tabla de rutas del encaminador D.

RED	RUTA
128.10	DIRECTA
128.15	DIRECTA
129.7	128.15.12
DEFECTO	128.15.12

Fig. 80: Tabla de rutas del encaminador D

Las tablas de rutas pueden ser estáticas o dinámicas. Las tablas estáticas se establecen por configuración mientras que las tablas dinámicas se obtienen mediante

intercambio de información entre los encaminadores. A su vez las tablas dinámicas se derivan, bien del conocimiento de la topología de la red o bien del conocimiento del encaminador siguiente y distancias a las redes destino.

B. Algoritmo de Encaminamiento

El algoritmo seguido por los encaminadores es el siguiente:

```
EXTRAER la dirección Destino D;  
BUSCAR en la tabla del encaminador la dirección destino  
Si la dirección D está en ruta directa  
    ENTONCES  
        enviar trama al destino por la red mediante dirección  
MAC  
EN CASO CONTRARIO SI D está en ruta indirecta  
ENTONCES  
    encaminar el datagrama a la dirección indica  
EN CASO CONTRARIO SI el puente tiene ruta por defecto  
    ENTONCES  
        encaminar el datagrama a la ruta por defecto  
EN CASO CONTRARIO  
    Descartar datagrama y enviar mensaje de error  
FIN SÍ
```

Veamos este mecanismo con el ejemplo mostrado en la siguiente figura. Supongamos que el ordenador A con dirección 128.10.6.3 (conectado por tanto al segmento 128.10.6) desea realizar un acceso a una base de datos remota del ordenador B con dirección 128.12.3.1 (conectado al segmento 128.12.3).

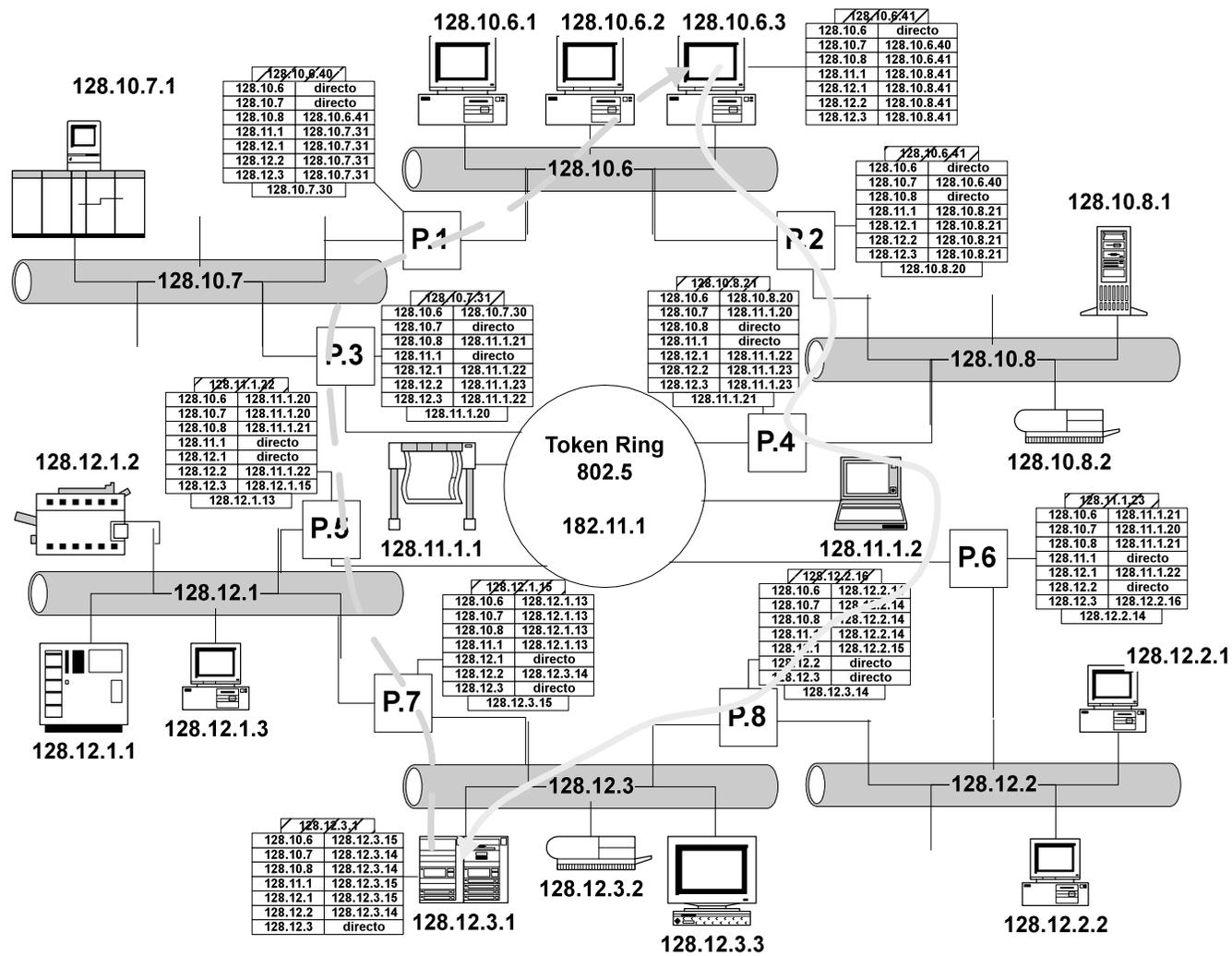


Figura 81. Ejemplo de red con las tablas de los encaminadores

El ordenador A mira en su tabla de encaminamiento dónde debe dirigir los datagramas con destino a la red 128.12.3 y observa que ha de mandarlos a P.2 con dirección 128.10.6.41.

- Se examina la tabla de encaminamiento de P.2 para dirección destino 128.12.1
- El puerto P.2 envía la petición por el puente P.4 con dirección 128.18.21.
- Se examina la tabla de encaminamiento de P.4 para dirección destino 128.12.1
- El puerto P.4 envía la petición por el puente P.6 con dirección 128.11.1.23.
- Se examina la tabla de encaminamiento de P.6 con dirección destino 128.12.1
- El puerto P.6 envía la petición por el puente P.8 con dirección 128.12.2.26
- Se examina la tabla de encaminamiento de P.8 para dirección destino 128.12.1

El puerto P.8 observa que la ruta es directa. Sabe que le *host* correspondiente está en al red adyacente y por estos efectos puede tratar con la dirección MAX. Sabe la dirección MAC mediante el protocolo ARP.

Si seguimos este mecanismo, podemos observar que la información correspondiente a la consulta va por otro camino. Pasa por los puentes P.7 ->P.5 -> P.3 ->P.1.

C. Encaminadores INTERNET

En este apartado se describen algunos protocolos de encaminamiento en el contexto de la red Internet. Haya que señalar que en Internet se suele denominar *gateway* lo que en otros casos se denomina encaminador o *router*. En este libro se mantiene la palabra encaminador, por tratarse de un dispositivo que realiza transformaciones a nivel de red o inferiores. El concepto de *gateway* se aplica en esta obra para designar a las pasarelas, es decir, las entidades que realizan transformaciones en niveles superiores al nivel de red.

Como se puede ver en la figura siguiente, existen dos tipos de encaminadores o gateways: los internos y los que conectan redes autónomas (es decir, administradas separadamente). La diferencia fundamental es que los que pertenecen a distintas redes han de seguir protocolos estándares de facto. Los encaminadores internos pueden seguir un protocolo determinado. Atendiendo a esto, Internet clasifica los protocolos de encaminamiento en los siguientes tipos:

1. CORE GATEWAYS: Encaminadores principales

Los principales protocolos son:

- GGP (Gateway -Gateway Protocol), para comunicar dos CG
- EGP (Exterior Gateway Protocol), para comunicar encaminadores exteriores de sistemas autónomos e intercambia información de alcanzabilidad

2. NON-CORE GATEWAYS: Encaminadores internos

Los principales protocolos son:

- EGP, con un CG
- IGP (Interior Gateway Protocol), para enlazar con otro encaminador interno. Por ejemplo, RIP (Routing Information Protocol).

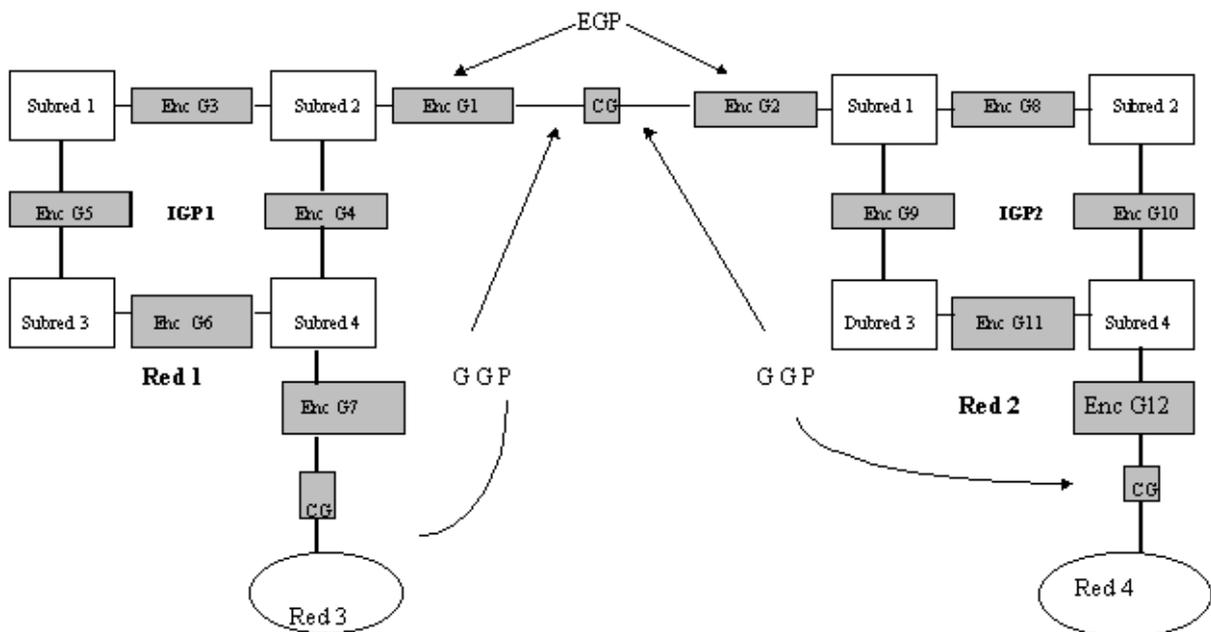


Fig. 82: Conexión de sistemas autónomos mediante protocolos EGP. La interconexión dentro de subsistemas internos se realiza mediante protocolos IGP.

C.1. Encaminadores principales (Core Gateways)

Este tipo de encaminadores están controlados por la INTERNET Activities Board (IAB). Fueron los instalados en un primer momento en ARPANET. El sistema de encaminadores principales está diseñado para proveer rutas consistentes para todos los

posibles destinos. Estos encaminadores se comunican entre sí para garantizar que la información compartida es consistente.

Los encaminadores principales encargan de conectar sistemas autónomos. Se entiende por sistema autónomo un conjunto de redes y encaminadores bajo una misma administración. Para hacer posible la aplicación de algoritmos de encaminamiento automático, cada sistema autónomo tiene un número asociado y suministrado por la autoridad central que asigna todas las direcciones Internet.

Cada sistema autónomo es libre de escoger la arquitectura de encaminamiento, pero debe recoger información de todas las redes y dársela a uno o más puentes exteriores por donde pasará información de otros sistemas autónomos. Debido a que Internet emplea la arquitectura Core, cada sistema debe pasar información al encaminador principal de Internet.

El sistema Core fue diseñado para permitir la conexión de nuevos encaminadores principales (core) sin modificar los existentes. Cuando se añade un nuevo encaminador al sistema Core, se le asignan uno o más encaminadores principales vecinos con los que se comunica. Los vecinos, también miembros del Core, propagan información de ruta entre ellos mismos. De esta manera, los nuevos encaminadores sólo necesitan informar a sus vecinos acerca de las redes a las que puede acceder; ellos actualizan sus tablas de encaminamiento y propagan esta nueva información.

a) Protocolos GGP

Los encaminadores principales empleados originalmente un protocolo de vector - distancia (métrica de los encaminadores) conocido como CGP (Gateway -Gateway Protocol) para intercambiar información de ruta. GCP es un protocolo que utiliza los servicios de los datagramas IP. Cada mensaje CGP tiene una cabecera con formato fijo que identifica el tipo de mensaje el formato de los campos.

a.1) Algoritmo de Vector - distancia

El término vector- distancia se refiere a una clase de algoritmo que utilizan los encaminadores para propaga la información de rutas.

La información de ruta intercambiada con el protocolo GCP consiste en un par (R, D), donde R es una dirección IP de una red y D es la distancia a dicha red expresada en saltos o número de encaminadores que debe atravesar. No siempre un número de saltos menor implica una mayor velocidad. Por ejemplo, un camino con cuatro saltos atravesando cuatro redes Ethernet es más rápido que tres saltos atravesando tres líneas serie.

Aunque los algoritmos vector - distancia son fáciles de implementar, tienen importantes desventajas. En un entorno completamente estático, estos algoritmos propagan rutas a todos los destinos. Cuando las rutas cambian rápidamente debido a nuevas conexiones o al fallo de las existentes, por ejemplo, la información se propaga lentamente de su encaminador a otro. En este intervalo los encaminadores pueden tener información de ruta incorrecta. Por otra parte, los mensajes de actualización de proporcional al número total de redes. Dado que, adicionalmente, se requiere la participación de todos los encaminadores en el intercambio de información de ruta, el volumen de información intercambiado es muy elevado.

a.2) Algoritmo SPF

Una alternativa al algoritmo de Vector - distancia es el encaminamiento SPF (Shorter Path First). El algoritmo SPF requiere que cada encaminador tenga una información completa de la topología de la red. Los nodos del grafo corresponden a los encaminadores, mientras que los arcos se corresponden con las redes que los conectan.

En vez de enviar mensajes que contengan una lista de destinos, un encaminador participa en el algoritmo SPF realizando dos tareas. En primer lugar activa un test a todos los encaminadores vecinos (en términos de grafos, dos encaminadores vecinos están conectados a una misma red). En segundo lugar, periódicamente propaga la información de estado de sus enlaces al resto de encaminadores.

Para informar a todos los encaminadores, cada encaminador emite periódicamente un mensaje de difusión que indica el estado de cada uno de sus enlaces. El mensaje de estado no especifica la ruta, simplemente informa de si la comunicación es posible entre pares de encaminadores.

Cuando se recibe un mensaje de estado de enlaces, el encaminador emplea esa información para actualizar el mapa de Internet, marcando los enlaces como activados (up) o desactivados (down). Siempre que cambia el estado de algún enlace, el encaminador vuelve a determinar las rutas mediante la aplicación al grafo resultante del algoritmo de camino más corto SPF de Dijkstra. Este algoritmo calcula el camino más corto para todos los destinos desde un punto (véanse las lecturas recomendadas Sistemas y Redes Telemáticas y Redes de Ordenadores).

Una de las ventajas de emplear el algoritmo SPF es que cada encaminador evalúa las rutas independientemente empleando los datos de estado originales, sin

depender en el cálculo de máquinas intermedias. Debido a que los mensajes de estado de los enlaces se propagan invariables, la depuración de problemas es relativamente sencilla: puesto que los mensajes de estado de los enlaces sólo llevan información sobre conexiones directas desde un único encaminador, el tamaño no depende del número de redes. Por ello el algoritmo SPF es más escalable que el basado en vector - distancia.

b) Protocolos EGP

Cuando dos encaminadores intercambian información de ruta se denominan vecinos exteriores si pertenecen a dos sistemas autónomos diferentes y vecinos interiores si pertenecen al mismo sistema autónomo. Los protocolos de intercambio de información entre vecinos exteriores se denominan External Gateway Protocols (EGP).

La figura anterior muestra dos redes que se comunican mediante EGP. El encaminador G1 realiza la función de encaminador para el sistema autónomo 1 e informa al encaminador G2, empleando EGP, mientras que G2 suministra información del sistema 2.

EGP tiene tres características principales:

- Soporta un procedimiento de “adquisición de vecino “ que permite a un encaminador pedir a que participe con él en el intercambio de información de ruta. El concepto de “vecino”, por consiguiente, no entraña proximidad geográfica.
- Un encaminador está continuamente verificando si los EGP vecinos responden.
- Los EGP vecino periódicamente intercambian información de red mediante el paso de mensajes de actualización de ruta.

Para poder realizar estas funciones, EGP define nueve tipos de mensajes, que son los que muestra la tabla de la figura:

TIPO DE MENSAJE	DESCRIPCIÓN
Acquisition Request	Petición de un encaminador para ser vecino
Acquisition Confirm	Respuesta positiva a Acquisition Request
Acquisition Refuse	Respuesta negativa a Acquisition Request
Cease Request	Petición de finalización de la comunicación con el vecino
Cease Confirm	Respuesta de confirmación al mensaje Cease Request
Hello	Petición al vecino para que indique si está vivo
I Heard You	Respuesta a mensaje Hello
Poll Request	Petición de actualización de información de ruta
Routing Update	Información y accesibilidad a la red
Error	Respuesta a un mensaje incorrecto

Fig. 83: Mensaje del protocolo EGP

EGP permite dos formas de comprobar si una estación vecina está a la escucha. En modo activo, el encaminador comprueba al vecino periódicamente enviando mensajes *Hello* con mensajes de *poll* y esperando respuesta. En modo pasivo, un encaminador depende de que su vecino le envíe periódicamente mensajes *hello* o *poll*. Normalmente los encaminadores están en modo activo.

C.2. Encaminadores internos (Non-Core Gateways)

Estos encaminadores son internos a los sistemas autónomos. Están controlados por los administradores de los mismos. Por tanto, no tienen por qué seguir una norma estándar, a excepción de los que se comunican con encaminadores principales. A continuación se describen los protocolos más frecuentemente utilizados por los encaminadores internos.

a) Protocolos EGP

Permite el intercambio de información entre vecinos exteriores. Se han descrito en el apartado anterior.

b) Protocolos IGP (*Internal Gateway Protocol*)

Para automatizar la tarea de mantener actualizada la información de ruta, los encaminadores internos normalmente se comunican con otros intercambiando datos de accesibilidad o información de ruta. Una vez que dicha información de un sistema

autónomo ha sido consolidada, uno de los encaminadores en el sistema puede comunicarla a otros sistemas autónomos empleando EGP.

Uno de los motivos de la inexistencia de un único protocolo para encaminadores internos es la amplia variedad de topologías y tecnologías usadas en los sistemas autónomos. La mayoría de los sistemas autónomos emplean un único protocolo para propagar información de ruta interna. Algunos sistemas autónomos emplean EGP como IGP.

En la figura puede observarse cómo los encaminadores G3 Y G4 se intercambian la información mediante IGP. En la figura, IGP1 se refiere al protocolo IGP en el sistema autónomo 1 e IGP2 al IGP en el sistema autónomo 2.

Entre los protocolos IGP podemos enumerar: RIP, HELLO y OSPF.

c) Protocolos RIP (Routing Information Protocol)

Es uno de los más empleados. Fue inicialmente creado por la Universidad de Berkeley y está basado en las investigaciones de Xerox, generalizadas para cubrir distintas familias de redes.

Los protocolos RIP están basados en el vector/distancia. Los encaminadores activos informan de sus rutas a los otros encaminadores: los pasivos escuchan y actualizan sus tablas de encaminamiento, pero no las modifican. Generalmente, los encaminadores operan RIP en modo activo, mientras que los host o nodos lo realizan en modo pasivo.

Un encaminador en modo activo envía un mensaje de difusión cada treinta segundos. El mensaje contiene dirección IP y distancia a dicha red. En la métrica RIP, un encaminador tiene distancia “uno” para redes que están directamente conectadas, dos para redes en las que hay que atravesar un encaminador y así sucesivamente.

Tanto los encaminadores RIP pasivos como activos escuchan todos los mensajes de difusión y actualizan sus tablas de acuerdo al algoritmo del vector-distancia descrito anteriormente. Por ello, no es un algoritmo que ofrezca resultados óptimos cuando existen redes con mucha diferencia de velocidades, si bien RIP tiene implementaciones para incrementar el coste (distancia) cuando una red es muy lenta.

Para evitar oscilación de información de ruta entre dos o más caminos de igual coste, RIP especifica que un encaminador que aprende una ruta ha de mantenerla hasta que aprende otra de menor coste.

El algoritmo puede verse en la figura siguiente. Cuando un encaminador actualiza una ruta en su tabla, activa un temporizador para dicha ruta. Si a los 180 segundos no ha

recibido nueva información de la misma, dicha entrada queda invalidada. El temporizador es iniciado cada vez que recibe información sobre la ruta. Este algoritmo tiene una serie de inconvenientes:

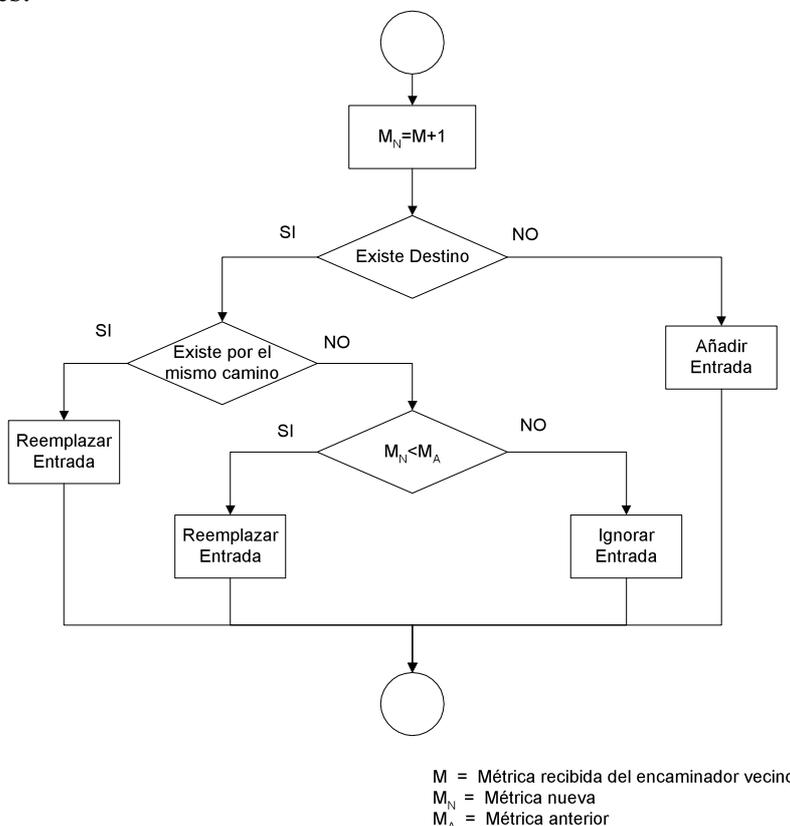


Fig. 84: Algoritmo de encaminamiento RIP

El algoritmo no detecta bucles en la transmisión de información de ruta. Para evitar inestabilidad, RIP emplea un valor bajo para la máxima distancia posible. La distancia máxima contemplada en este protocolo es 16. Por ello RIP no permite más de 15 encaminadores, con lo que, a efectos prácticos, si la métrica tiene el valor 16 es considerada como infinito.

El algoritmo del vector de distancia genera una gran cantidad de información de ruta cuando un enlace desaparece. Escogiendo un infinito pequeño (16) se limita dicha congestión pero no se elimina.

Para comprender mejor este algoritmo se analizará el ejemplo de la figura siguiente.

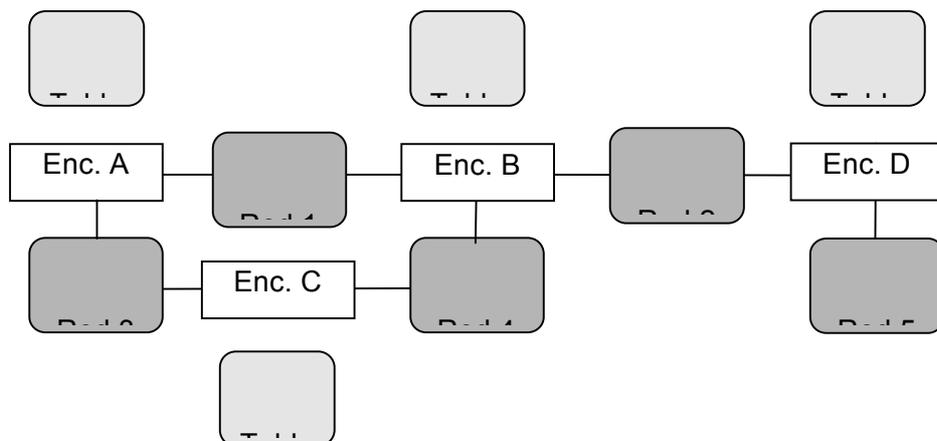


Fig. 85: *Ejemplo de operación de encaminamiento*

Periódicamente cada encaminador envía información de sus tablas a los encaminadores vecinos, los que incrementarán la métrica en 1.

Así, en el ejemplo, las tablas relativas a R.5 serían:

E.A :	Red 5, B, 3
EB :	Red 5, D, 2
EC :	Red 5, B, 3
DE :	Red 5, =, 1

A continuación se analiza la operación cuando se avería el encaminador D y cuando se inserta un encaminador E.E.

En RIP la actualización de las tablas es cada 30 seg. Y las entradas se descartan cada 180 seg. La métrica para R.5 debería llegar a infinito. A E.B no le llega nada por la interfaz de R.2 con lo cual borra esa entrada. EA y EC envían la métrica 3, con lo cual, como E.B no tiene entrada, añade una con métrica 4. Continúan enviándose métricas del uno al otro que van progresando 4,516. Por este motivo pueden crear tablas incoherentes durante un período de tiempo determinado (como máximo $15 \cdot 30 + 180 = 630$ seg.).

Si se añade E.E al ejemplo de la figura anterior (figura siguiente) ocurre lo siguiente. E.E envía al E.C información de que el coste a R.5 es 1. E.C incrementa en 1 ese valor e introduce en la tabla el valor 2, (anteriormente era 3). Los valores para E.B tenía 2 como valor de acceso a R.4.

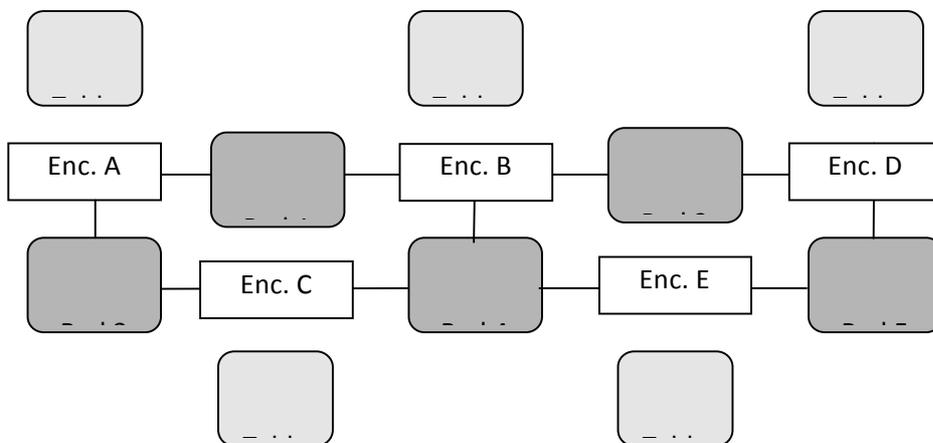


Fig. 86: *Inserción del encaminador E.*

c.1) Protocolo HELLO

El protocolo HELLO es un ejemplo de protocolo basado en una métrica de retardo en lugar de salto. Opera de forma similar a los protocolos con vector-distancia.

HELLO tiene sus funciones. sincroniza el reloj entre un conjunto de máquinas y permite a cada una calcular el camino de menor retardo. La idea básica de HELLO es simple. cada máquina participa en el mantenimiento de las tablas tomando el mejor tiempo de los vecinos. Antes de transmitir un datagrama, cada máquina incluye el instante en el que la información se graba copiando el contenido de su reloj en el datagrama. Cuando llega un datagrama, el receptor mira el retardo del enlace comparando el contenido de su reloj con el que marcó la estación emisora. Periódicamente, las máquinas preguntan a sus vecinos.

Los mensajes Hello también permiten a las máquinas descubrir nuevas rutas. El algoritmo es similar al RIP, pero usando retardo en vez de saltos.

Como en cualquier algoritmo de encaminamiento, no se pueden modificar las tablas demasiado rápidamente, pues sería inviable. Podría ocurrir que pequeñas variaciones de los costes de las rutas debidas al incremento momentáneo del tráfico en una ruta provocasen actualizaciones continuas de las tablas, por otro lado no justificadas. Para evitarlo, las implementaciones de HELLO actualizan los caminos sólo si la diferencia del retardo es grande.

c.2) OSPF (Open Shortest Protocol First)

OSPF es un protocolo par encaminadores internos basado en SPF. Este protocolo tiene las siguientes características:

- OSPF incluye tipos de rutas de servicio. Los administradores pueden definir

varias rutas para un mismo destino, cada una para un tipo de servicio. Cuando se encamina un datagrama, un encaminador bajo OSPF emplea tanto el campo dirección de destino como el campo del tipo de servicio. De hecho es el primer protocolo TCP/IP que emplea el campo de tipo de servicio de ruta.

- OSPF puede equilibrar la carga. Si el administrador especifica más de una ruta con el mismo coste, OSPF distribuye el tráfico entre éstas. De nuevo, OSPF es el primer IGP abierto que ofrece equilibrio de carga. RIP, por ejemplo, sólo admite una única ruta.
- OSPF permite dividir la red y encaminadores en subconjuntos llamados áreas para permitir el crecimiento de la misma y hacer que su administración sea más sencilla. Cada área es autocontenida; el conocimiento de la topología de un área permanece transparente al resto de las áreas. Por otro lado, muchos grupos de una zona dada pueden cooperar en el empleo de OSPF para encaminamiento incluso si cada grupo se reserva la decisión de cambiar la topología interna.
- OSPF especifica que todos los intercambios entre encaminadores deben ser autenticados. OSPF permite una variedad de esquemas e, incluso, permite a un área escoger un esquema distinto que otra. Con la autenticación sólo los encaminadores autorizados propagan información de ruta, evitándose problemas de seguridad, como el que se describe a continuación utilizando un protocolo RIP.

Un pirata informático (hacker) podría simplemente, por medio de su ordenador personal, propagar mensajes RIP informando de que su dirección corresponde a la ruta de más bajo coste, con lo que otros nodos y encaminadores comenzarán a enviarle información.

c.3) Comparación OSPF y RIP

En la tabla de la figura 19.9 se comparan las características de OSPF y de RIP, tanto en su primera como en sus segundas versiones.

FUNCIÓN	OSPF	RIP	RIP v.2
Técnica	Estado de enlaces	Vector - distancia	Vector -distancia
RFC	1245.1583	1058	1387-88-89
Carga de red	controlada	rápido crecimiento	rápido crecimiento
Selección de ruta	tipo de servicio	no	no
Equilibrio de cargas	sí	no	no
Métrica	SPF	saltos	saltos
Seguridad	Autenticación	no	no
Convergencia	rápida	lenta	lenta
Complejidad de los encaminadores	mayor	menor	menor

Fig. 87: Comparación de OSFP y RIP

D. Nivel de Interred.

Existen casos en los que no es posible la conversión directa de lo diferentes niveles de Red, o que simplemente, no existe un método concreto para llevar a cabo la conversión. Como solución, se plantea la posibilidad de buscar una solución intermedia común a ambos extremos. Para ello, se añadirá un nuevo nivel (Nivel de Interred) que estará en todos los sistemas y que evitará la conversión de un protocolo a otro.

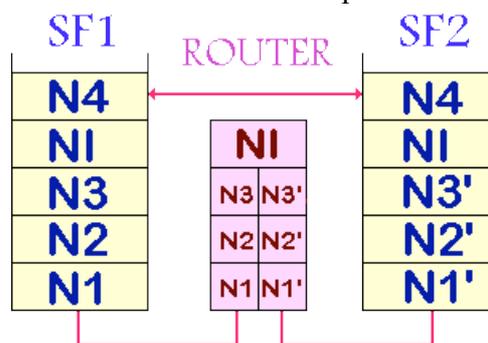


Fig. 88: Nivel de interred.

El modo de funcionamiento sería el siguiente:

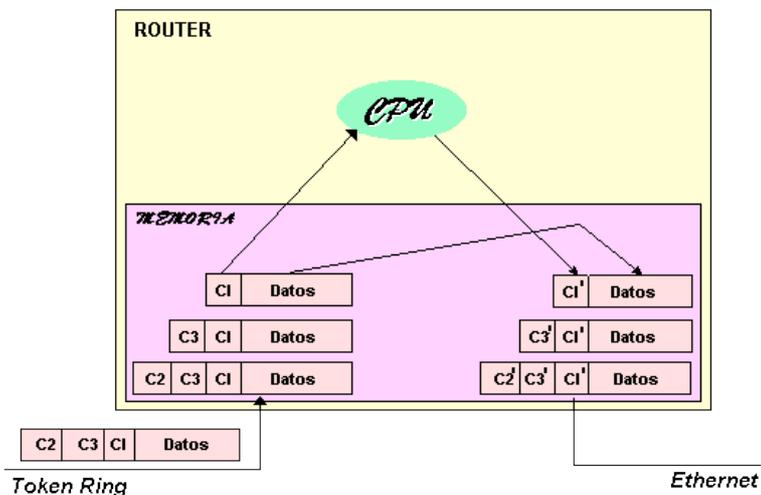


Fig. 89: Funcionamiento del router con nivel de interred.

- El paso de CI a CI' ya no es una conversión de protocolos, pues ahora estamos siempre en el mismo protocolo.
- Serán muy parecidas (a excepción de algunos contadores, como el del contador de saltos, etc.).
- C3' y C2' se generarán desde CI' (CI). C3 y C2 se tiran.

Surge un problema: Un mayor número de niveles implica más cabeceras y más datos de control. Como consecuencia de ello la eficiencia disminuye.

Los niveles OSI que se ven involucrados son:

- SNICP: Este es el protocolo independiente de la subred y es el que implementamos ahora.
- SNACP: Este sí depende de la subred (será el X.25, FDDI, etc.).
- SNCDP: Es el protocolo de convergencia que traduce de uno a otro.

Interconexión de Sistemas Heterogéneos

Superado el nivel de red, la interconexión de redes pasa por múltiples condicionantes, resueltos, en la mayoría de los casos, mediante soluciones particulares. Aún así, se pueden encontrar varias posibilidades de interconexión, encuadradas dentro de lo que denominaremos interconexión de sistemas heterogéneos.

Conmutadores

El conmutador es un elemento que proporciona la apariencia funcional de un puente multipuerto de alto rendimiento, pudiendo realizar funciones adicionales, tales

como filtrado. La conmutación puede ser:

- Conmutación de tramas
- Conmutación de células, basada en ATM

Los conmutadores de tramas utilizan dos tipos de técnicas:

- Almacenamiento y envío
- Conmutación rápida, también conocida como cut-through y on the fly

Con conmutación rápida, las tramas se mueven al puerto de salida una vez recibida y analizada la dirección de destino contenida en la cabecera. La ventaja fundamental de este procedimiento es que la tendencia en el conmutador es muy baja: se tienen valores inferiores a 50 microsegundos. La desventaja es que se pueden enviar tramas que contengan errores.

Con almacenamiento y envío, se recibe la totalidad de la trama antes de moverla al puerto de destino. La ventaja principal es que no se envían tramas erróneas y la desventaja es que, obviamente, la tendencia es superior a la del caso anterior.

A. Arquitectura de red dorsal concentrada (collapsed backbone)

Tradicionalmente, una de las opciones para interconectar varios segmentos de red es la utilización de puentes o encaminadores, así como una red dorsal de muy alta velocidad, como puede ser una red FDDI a 100Mps o incluso Pase de Testigo a 16 Mbps. Esta situación se representa en la figura:

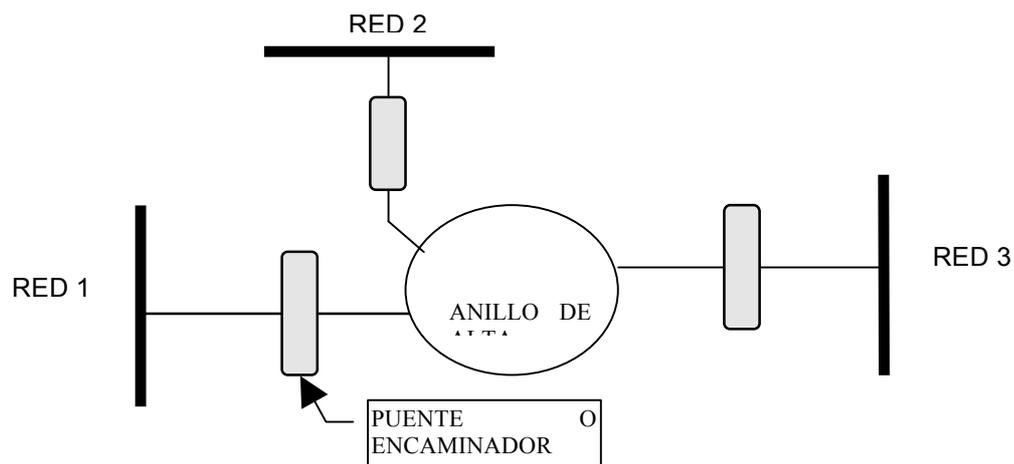


Fig. 90: Interconexión de redes mediante anillo de alta velocidad.

Con la llegada de los hubs de tercera generación, se está empleando con frecuencia

una arquitectura denominada red dorsal concentrada (collapsed backbone). Consiste esencialmente en un conjunto de elementos de red interconectados mediante encaminador o conmutador de altas prestaciones, tal como se representa en la figura 19.12. La red dorsal está constituida por el plano posterior del encaminador o conmutador. Esta disposición proporciona las siguientes ventajas:

- Plano posterior de muy altos rendimientos (Gigabps)
- Menor coste al haber un solo dispositivo de conexión
- Gestión centralizada
- Los segmentos o subredes pueden conectarse mediante fibra óptica, lo que permite una cobertura muy elevada

En la figura se representa una aplicación del encaminador con red dorsal concentrada en la interconexión de un campus con varios edificios.

Encapsulación de protocolos

La encapsulación de unos protocolos dentro de otros es la solución más ampliamente difundida para resolver el problema de circulación de información en redes heterogéneas.

De esta manera se solventa, por ejemplo, el problema de la transmisión de información de una red SNA a través de una red TCP/IP para llegar como destino a otra red SNA (véase la figura siguiente).

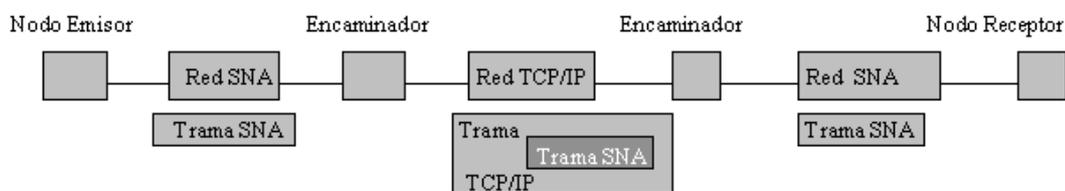


Fig. 91: Ejemplo de red en la que tanto el emisor como el receptor de los mensajes están conectados a redes SNA y sin embargo, la información debe circular atravesando una red TCP/IP

Como se ve en la figura anterior el método consiste en situar la trama SNA dentro de la parte de información de la trama TCP/IP. Cuando la trama TCP/IP llega a la parte de SNA se quita la información TC/IP y queda la información SNA. De esta manera el nodo emisor y el nodo receptor pueden comunicarse atravesando la red TCP/IP.

Este mecanismo es similar al empleado por los puentes por encapsulación, si bien

encapsula protocolos de nivel superior.

Encaminadores multiprotocolo y routers

Este tipo de encaminadores hace más simple la transmisión de información de distintos protocolos por una red. aportan unas prestaciones similares a las de la capsulación de unos protocolos dentro de otros, pero liberando a la red de información redundante.

Los **routers** son encaminadores multiprotocolo que además tienen la facilidad de que, si se encuentran con un protocolo para el que no están diseñados, por ejemplo un protocolo no enrutable, actúan como puentes. Pueden a su vez ser configurado para que actúen únicamente como puentes.

Empleo de pasarelas

Este método consiste en la traducción de la información de una arquitectura a otra. La traducción contempla todos los niveles de cada arquitectura.

En la figura puede observarse un ejemplo de este tipo de transformaciones. En este caso se transforman los protocolos de la arquitectura SNA en protocolo TCP/IP.

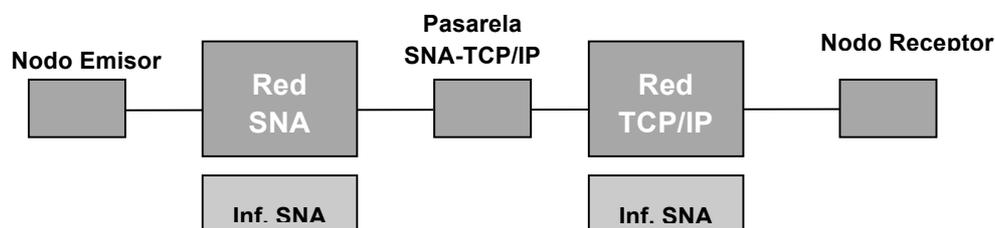


Fig. 92: Empleo de pasarela SNA-TCP/IP para la transformación de información de protocolo entre ambas arquitecturas